

# **DIPLOMARBEIT**

Herr |

**Michael Gupper**

## **Austausch von Bestandslüftungsanlagen in einem Shoppingcenter und Bewertung aus ökonomischer Sichtweise**

Mittweida, 2016

---

# DIPLOMARBEIT

---

## **Austausch von Bestandslüftungsanlagen in einem Shoppingcenter und Bewertung aus ökonomischer Sichtweise**

Autor:

**Herr**

**Michael Gupper**

Studiengang:

**Mechatronik**

Seminargruppe:

**KM12wMGA**

Erstprüfer:

**Prof. Dr. Dr .h.c. Hartmut Lindner**

Zweitprüfer:

**Prof. ,Diplom-Kaufmann, Dr.rer.pol. Andreas Hollidt**

Einreichung:

**Mittweida, 15.06.2016**

Verteidigung / Bewertung:

**Vöcklabruck / 04.07.2016**

Faculty of Mechanical Engineering

---

# DIPLOMA THESIS

---

**Exchange of inventory ventilation systems  
in a shopping center and reviewed from  
economic point of view**

Author:

**Mr.**

**Michael Gupper**

Course of Studies:

**mechatronics**

Seminar group:

**KM12wMGA**

First examiner:

**Prof. Dr. Dr .h.c. Hartmut Lindner**

Second examiner:

**Prof. ,Diplom-Kaufmann, Dr.rer.pol. Andreas Hollidt**

Submission:

**Mittweida, 15.06.2016**

Defence / Evaluation:

**Vöcklabruck / 04.07.2016**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Gupper, Michael:

Austausch von Bestandslüftungsanlagen in einem Shoppingcenter und Bewertung aus ökonomischer Sichtweise. - 2016. - X, 78, 0 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Diplomarbeit, 2016

## **Referat:**

Mit der vorliegenden Arbeit werden die energetischen Einsparungsmerkmale für Lüftungsgeräte anhand eines bestehenden Shoppingcenters durch Austausch der Lüftungsanlagen behandelt. Für Unternehmen stellt sich die Frage der Rentabilität einer Investition - diese wird mittels einer Amortisationsrechnung sowie eines energetischen Vergleiches und einer Bewertung der Maschinenproduktivität erläutert. Eine Einsparung der Betriebskosten erhöht die Produktivität langfristig für ein Unternehmen.

# Inhalt

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Inhalt .....                                                                                            | V  |
| Abbildungsverzeichnis.....                                                                              | IX |
| Tabellenverzeichnis.....                                                                                | X  |
| Abkürzungsverzeichnis .....                                                                             | XI |
| 1. Einleitung .....                                                                                     | 1  |
| 1.1. Zweck & Ziele der Arbeit .....                                                                     | 1  |
| 1.2. Aufbau der Diplomarbeit.....                                                                       | 2  |
| 2. Einführung Lüftungs- und Klimatechnik .....                                                          | 4  |
| 2.1. Warum Lüftungsanlagen .....                                                                        | 4  |
| 2.2. Geschichte der Lüftungstechnik .....                                                               | 4  |
| 2.3. Luftarten.....                                                                                     | 6  |
| 2.4. Anwendungsbereiche für Lüftungsanlagen.....                                                        | 6  |
| 2.5. Lüftungsanlagen nach deren Verwendungszweck.....                                                   | 7  |
| 2.6. Lüftungsanlagen nach deren Luftbeförderung und thermodynamischen Funktionen<br>[BedienRLT08] ..... | 8  |
| 2.6.1 Luftbeförderung.....                                                                              | 8  |
| 2.6.2 Thermodynamische Funktionen.....                                                                  | 9  |
| 2.7. Lüftungsschema .....                                                                               | 10 |

---

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. Stand der Technik .....                                                       | 12 |
| 3.1. Gehäuse.....                                                                | 12 |
| 3.2. Wärmerückgewinnung.....                                                     | 15 |
| 3.2.1. Lüftungsgerät ohne Wärmerückgewinnung .....                               | 15 |
| 3.2.2. Kreuz- und Gegenstromwärmetauscher (PWT).....                             | 15 |
| 3.2.3. Rotationswärmetauscher (RWT) .....                                        | 17 |
| 3.2.4. Kreislaufverbundsystem (KVS).....                                         | 18 |
| 3.2.5. Wärmerohr .....                                                           | 19 |
| 3.2.6. Gegenüberstellung Vor- und Nachteile der WRG Systeme .....                | 20 |
| 3.2.7. Ansätze zur energetischen Bewertung der Wärmerückgewinnung .....          | 21 |
| 3.2.8. Zusammenfassung Wärmerückgewinnung.....                                   | 21 |
| 3.3. Ventilatoren .....                                                          | 21 |
| 3.3.1. Axialventilatoren.....                                                    | 22 |
| 3.3.2. Radialventilatoren.....                                                   | 23 |
| 3.3.3. Arten von Motoren.....                                                    | 26 |
| 3.3.4. Regelungsarten von Ventilatoren .....                                     | 28 |
| 3.3.5. Der Ventilator in der Lüftungsanlage .....                                | 29 |
| 3.3.6. Kennlinien von Ventilatoren und Motoren.....                              | 31 |
| 3.3.7. Berechnungsgrundlagen für die effiziente Auslegung eines Ventilators..... | 32 |
| 3.4. Luftfilter .....                                                            | 32 |
| 3.5. Schalldämpfer .....                                                         | 37 |

---

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.6. Heizregister und Kühlregister .....                                            | 38 |
| 3.7. Befeuchter.....                                                                | 40 |
| 3.8. Klappen.....                                                                   | 41 |
| 3.9. Ansaug- und Ausblasbauteile.....                                               | 41 |
| 4. Einleitung Shoppingcenter .....                                                  | 43 |
| 5. Altbestand Shoppingcenter .....                                                  | 44 |
| 5.1. Technische Daten des Lüftungsgerätes L01 Restaurant / Küche .....              | 44 |
| 5.2. Geräteskizze des Lüftungsgerätes L01 Restaurant / Küche .....                  | 47 |
| 6. Maßnahmen zur Verbesserung der Lüftungsanlage .....                              | 49 |
| 7. Neuplanung.....                                                                  | 53 |
| 7.1. Anforderungen nach Ökodesign Richtlinie ErP .....                              | 53 |
| 7.2. Technische Daten des Lüftungsgerätes L01 Restaurant / Küche .....              | 55 |
| 7.3. Geräteskizze des Lüftungsgerätes L01 Restaurant / Küche .....                  | 59 |
| 8. Ökonomische Bewertung der Lüftungsanlagen Shoppingcenter .....                   | 60 |
| 8.1. Energetische Bewertung .....                                                   | 60 |
| 8.1.1. Wärmerückgewinnung.....                                                      | 60 |
| 8.1.2. Ventilatoren.....                                                            | 63 |
| 8.1.3. Lufterwärmer.....                                                            | 66 |
| 8.1.3.1 Jährliche Einsparung für Heizenergie (nur Betriebszeitenreduzierung).....   | 67 |
| 8.1.3.2 Jährliche Einsparung der Heizenergie durch besserer Wärmerückgewinnung..... | 69 |

---

|                                                                             |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|
| 8.1.4. <i>Druckverluste diverser Einbauteile</i> .....                      | 69     |
| 8.2. Investitionsrechnung.....                                              | 72     |
| 8.2.1. <i>Statisches Berechnungsverfahren - Amortisationsrechnung</i> ..... | 72     |
| 8.2.2. <i>Energiepreisentwicklung</i> .....                                 | 73     |
| 8.3. Rentabilität .....                                                     | 74     |
| 8.4. Produktivität .....                                                    | 75     |
| 9. Schlussteil.....                                                         | 77     |
| 9.1 Zusammenfassung.....                                                    | 77     |
| 9.2 Ausblick.....                                                           | 78     |
| Literatur.....                                                              | LXXIX  |
| Selbstständigkeitserklärung.....                                            | LXXXII |



## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Beispiel Lüftungsturm Campus Nottingham.....                             | 5  |
| Abbildung 2: Arbeitsbereiche der Lufttechnik [Lufttech].....                          | 7  |
| Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Lüftungsanlage .....                      | 10 |
| Abbildung 4: Skizze Kreuz- und Gegenstromwärmetauscher .....                          | 16 |
| Abbildung 5: Skizze Rotor .....                                                       | 17 |
| Abbildung 6: Skizze Kreislaufverbundsystem .....                                      | 18 |
| Abbildung 7: Prinzipskizze Wärmerohr [Fitzner08] .....                                | 19 |
| Abbildung 8: Axialventilator .....                                                    | 22 |
| Abbildung 9: Radialventilator mit Motorantrieb[Rietschl] .....                        | 24 |
| Abbildung 10: Freiläufer mit direktem Motorantrieb .....                              | 25 |
| Abbildung 11: Geschwindigkeitsdreieck bei vorwärts gekrümmten Laufradschaufeln .....  | 25 |
| Abbildung 12: Geschwindigkeitsdreieck bei rückwärts gekrümmten Laufradschaufeln ..... | 26 |
| Abbildung 13: Parallelschaltung von Ventilatoren [Seyfert14] .....                    | 30 |
| Abbildung 14: Serienschaltung von Ventilatoren [Seyfert14].....                       | 30 |
| Abbildung 15: Ventilatorkennlinie .....                                               | 31 |
| Abbildung 16: Materialien gestanzter Lamellenpakete .....                             | 39 |
| Abbildung 17: Aufbau eines Heizregisters .....                                        | 39 |
| Abbildung 18: Geräteskizze Bestandsgerät .....                                        | 47 |
| Abbildung 19: Geräteskizze Neugerät .....                                             | 59 |
| Abbildung 20: Energiepreisentwicklung [ENERG] .....                                   | 74 |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Luftarten .....                                                                       | 6  |
| Tabelle 2: Symbole Lüftungsschema .....                                                          | 11 |
| Tabelle 3: Wärmebrückenklassen mit Kondensationsbeginn [Kondensat11] .....                       | 13 |
| Tabelle 4: Wärmedurchgangsklassen [EN 1886 09] .....                                             | 13 |
| Tabelle 5: Luftdichtheitsklassen .....                                                           | 14 |
| Tabelle 6: Rotorarten mit bevorzugtem Einsatz [ROTORWRG] .....                                   | 18 |
| Tabelle 7: Vor- und Nachteile der WRG Systeme [WRGSYST] .....                                    | 20 |
| Tabelle 8: IE Effizienzklassen von Motoren .....                                                 | 27 |
| Tabelle 9: Filterklassen inkl. Abscheidegrad .....                                               | 36 |
| Tabelle 10: Anforderungen laut ErP- Richtlinie [ErP] .....                                       | 54 |
| Tabelle 11: Energetische Bewertung Wärmerückgewinnung .....                                      | 61 |
| Tabelle 12: Energetische Bewertung Zuluft - Ventilator .....                                     | 63 |
| Tabelle 13: Energetische Bewertung Abluft - Ventilator .....                                     | 64 |
| Tabelle 14: Gegenüberstellung Heizleistung .....                                                 | 67 |
| Tabelle 15: Zuluftgerät - Vergleich interner Drücke .....                                        | 70 |
| Tabelle 16: Abluftgerät - Vergleich interner Drücke .....                                        | 71 |
| Tabelle 17: Datenangabe für die Amortisationsrechnung ( Zahlenwerte bezogen auf ein Gerät) ..... | 72 |

## Abkürzungsverzeichnis

|                 |                                       |
|-----------------|---------------------------------------|
| ABL             | Abluft                                |
| AC              | alternating current                   |
| AUL             | Außenluft                             |
| CO <sub>2</sub> | Carbon Dioxid (deutsch: Kohlendioxid) |
| d.h.            | das heißt                             |
| DP              | Druckverlust                          |
| EC              | electronically commutated             |
| EPA             | Efficient Particular Airfilter        |
| ErP             | Energy- related Products              |
| FOL             | Fortluft                              |
| ggf.            | gegebenfalls                          |
| HEPA            | high efficiency-particular airfilter  |
| HKLS            | Heizung Lüftung Kälte Sanitär         |
| IE              | International Efficiency              |
| K               | Kelvin                                |
| kg              | Kilogramm                             |
| KVS             | Kreislaufverbundsystem                |
| lt.             | laut                                  |
| Lw              | Schallleistungspegel                  |
| MIL             | Mischluft                             |

---

|                 |                                  |
|-----------------|----------------------------------|
| Nm              | Newtonmeter                      |
| Nr.             | Nummer                           |
| Pa              | Pascal                           |
| P <sub>el</sub> | Elektrische Leistungsaufnahme    |
| PKW             | Pumpenkaltwasser                 |
| PM              | Permanent Magnet                 |
| PU              | Polyurethan                      |
| P <sub>w</sub>  | Wellenleistung                   |
| PWT             | Plattenwärmetauscher             |
| PWW             | Pumpenwarmwasser                 |
| r.F.            | relative Feuchte                 |
| RLT             | Raumluftechnisch                 |
| ULPA            | Ultra low Penetrating Air Filter |
| UML             | Umluft                           |
| ZUL             | Zuluft                           |

# 1. Einleitung

Die permanenten steigenden Preise für Energie bewirken ein Umdenken mit dem Umgang vorhandener Energien in Unternehmen mit dem verstärkten Interesse den Energiebedarf zu senken. Durch den immer häufigeren Bezug der Energien aus dem Ausland und deren Abhängigkeit aufgrund des immer höheren erforderlichen Energiebedarfes sowie politische Entscheidungen wie etwa eine Reduktion der Treibhausgase und gesetzlicher Vorgaben von Mindestwirkungsgrade bringen Unternehmen dazu den Energiekonsum zu reduzieren und effizient einzusetzen. Aufgrund oft fehlender Kompetenzen von Anlagenbauern und Planer ist es besonders als Hersteller von Lüftungs- und Klimageräten wichtig die aktuellen Prozesse in Fragen zu stellen und an deren Verbesserung zu arbeiten. Teilweise bewirken oft geringe Maßnahmen enorme Verbesserungen und eine Investition amortisiert sich schon nach wenigen Jahren und steigert somit die Liquidität eines Unternehmens.

## 1.1. Zweck & Ziele der Arbeit

Gute Raumlufthqualität ist für den Kunden ein wohlempfinden und steigert den Warenumsatz in einem Shoppingcenter. Es gibt zahlreiche Faktoren die das Wohlempfinden des Kunden stark beeinflussen, vor allem sind es aber neben der Dekoration und dem Warenangebot die Beleuchtung und die raumlufthtechnischen im Verkaufsraum entscheidend. Diese wirken im Unterbewusstsein nach Wunsch erneute Einkäufe zu tätigen.

Der Verfasser dieser Diplomarbeit hat sich dazu entschieden mit dem Umbau eines Shoppingcenters, im speziellen mit der Erneuerung deren Lüftungsanlagen zu beschäftigen und diese aus ökonomischer Sichtweise zu durchleuchten. Diese Arbeit soll mit einer Gegenüberstellung der Wärmerückgewinnung sowie der Ventilatoren einen Überblick der Betriebskosten geben!

Das Ziel dieser Arbeit ist neben der Reduzierung der Betriebskosten für den Shoppingcenterbetreiber durch den Umbau und der Modernisierung des Einkaufscenters die Rentabilität und Maschinenproduktivität langfristig zu steigern. Durch den effizienten Einsatz von Ressourcen rückt das ökonomische Denken im Vordergrund und trägt einen Teil der Zukunft bei.

## 1.2. Aufbau der Diplomarbeit

Einleitend wird das Grundwissen der Lüftung- und Klimatechnik behandelt. Als allererstes die Frage warum Lüftungsgeräte benötigt werden sowie die geschichtlichen Hintergründe wobei anhand einiger Beispiele bereits in der Vergangenheit durchdachte Systeme erwähnt werden. In den Grundlagen werden die Luftarten beschrieben, sowie welche Arten von Lüftungsgeräte am Markt zur Verfügung stehen. Lüftungsanlagen werden unterteilt nach deren Luftförderung sowie nach deren thermodynamischen Prozessen. Ein beispielhaftes Lüftungsschema mit den Symbolen der wichtigen Bauteile ist ebenfalls in diesem Teil der Arbeit enthalten.

Im weiteren Kapitel „Stand der Technik“ wird auf den aktuellen Technologiestand beginnend mit den Gehäusedaten eines Lüftungsgerätes und deren Qualitätsmerkmale eingegangen. Die Verluste des Gehäuses müssen minimiert werden und möglichst keinen Energieverlust über die Trennwände aufweisen. Im Anschluss werden die wichtigsten Wärmerückgewinnungsarten sowie deren Funktionsweise mit Vor- sowie Nachteilen beschrieben. Nach dem Kapitel Wärmerückgewinnung wird auf die Arten von Ventilatoren inkl. Motoren für raumluftechnische Lüftungsanlagen eingegangen, sowie einige Berechnungsansätze zur energetischen Bewertung der Lüftungsanlagen. Die Arten der Motorentechnologien in Bezug auf dessen Effizienz werden in diesem Kapitel ebenfalls behandelt. Luftfilter sind ein Bestandteil jeder Lüftungsanlage - einerseits um die Bauteile in der Anlage zu schützen, andererseits um die Außenluft zu filtern. Ebenso werden Heiz- und Kühlregister in diesem Teil beschrieben und im letzten Teil dieses Kapitels wird auf die Arten der Befeuchter sowie sonstigen Anbauteile wie Gliederklappen und Ansaug- oder Ausblashauben eingegangen.

Der praktische Teil dieser Arbeit beschäftigt sich mit Lüftungsgeräte für das Shoppingcenter. Eingangs wird der Bestand der Geräte hinsichtlich deren technischer Merkmale definiert. Aufbauend auf diesen Gerätestand wird Bestandsanalyse durchgeführt und die möglichen Optimierungsmerkmale dokumentiert und umgesetzt. Hauptaugenmerk bei der Planung der neuen Lüftungsanlagen sind die Wärmerückgewinnung und die Ventilatoren. Durch den Einsatz modernster Motortechnologien und Wärmerückgewinnungseinheiten mit sehr hohen Wirkungsgraden sollen die Betriebskosten reduziert werden. Wichtig bei Neuplanungen sind die Einflüsse der ErP- Richtlinien für neue Lüftungsanlagen. Aufbauend auf die beiden Gerätestände (Bestandsgerät und Neugerät) erfolgt eine ökonomische Bewertung der Lüftungsanlagen. Die energetische Bewertung der Bauteile Wärmerückgewinnung,

---

Ventilatoren sowie Einsparung der Wärmeenergie wird im Anschluss dieser Arbeit durchgeführt. Beim Vergleich der internen Druckverluste der Einbauteile zwischen Bestandsgeräte und Neugeräte soll eine deutliche Einsparung erzielt werden. Mit Hilfe einer Investitionsrechnung soll die Amortisationsdauer der Lüftungsgeräte ermittelt werden. Die Bewertung der Lüftungsanlagen nach den Kennziffern Rentabilität und Produktivität runden diese Arbeit ab.

## 2. Einführung Lüftungs- und Klimatechnik

Lüftungsanlagen sind seit Jahren ein wichtiger Bereich der Hautechnik wenn es um technische Gebäudeausstattung geht. In sehr vielen Bereichen sind diese heute aufgrund der baulichen Gegebenheiten sowie Verwendungszwecke von Gebäuden nicht mehr wegzudenken.

### 2.1. Warum Lüftungsanlagen

Die natürliche Luft besteht aus Gasen wie etwa Stickstoff, Sauerstoff, Argon, Kohlendioxid, und sonstigen Edelgasen. [Reck05] Der Sauerstoff wird von Menschen und auch von anderen Lebewesen benötigt um die Körperfunktionen aufrecht zu erhalten. Durch die Atmung wird der Sauerstoff in den Körper eingebracht und  $\text{CO}_2$  wird ausgeschieden. Luft ist ein Gemisch aus Luft und Wasserdampf wobei die Luftfeuchte den Anteil des Wasserdampfes beschreibt. Je mehr Wassermoleküle im Verhältnis zu den Luftmolekülen in der Luft sind, desto feuchter ist sie Luft. Das physische und psychische Wohlfühl eines Menschen wird durch ein behagliches Raumklima unterstützt. Die Behaglichkeit wird nach EN ISO 7730 festgelegt und definiert jenen Temperatur- und Feuchtebereich in dem sich der Mensch am wohlsten fühlt. [Zapfl07] Zu den Einflussgrößen der Behaglichkeit gehören insbesondere die Raumtemperatur, Feuchtigkeit, Temperatur der Raumumschließungsflächen und die Luftbewegung (Zuggefühl) im Raum. Bei normaler Tätigkeit gibt ein durchschnittlicher Mensch ca. 120W an Wärmeleistung in Form von Konvektion, Wärmestrahlung, Verdunstung und Atmung an die Umgebung ab. Die Abgabe von  $\text{CO}_2$  vom Menschen an die Umgebung ist unvermeidbar. Eine Lüftungsanlage minimiert die Schadstoffe und  $\text{CO}_2$ , dadurch Müdigkeit und sorgt für ein angenehmes Wohlempfinden im Raum. [Hauslagen99]

### 2.2. Geschichte der Lüftungstechnik

Bei heutigem Stand der Technik ist die moderne Haustechnik mit samt seinen Maschinen und Regelungskomponenten unverzichtbar. Wirft man einen Blick in die Geschichte der



Lüftungstechnik wird man es kaum glauben wie die Menschen bereits vor hunderten von Jahren Ihre Lüftungssysteme überlegt und auf natürliche Weise realisierten. Die Menschen versuchten mit den zu dieser Zeit vorhandenen Ressourcen durch einfache Lösungen das Raumklima positiv zu beeinflussen. Beispielweise wurden römische Gebäude immer mit einem Brunnen oder Teich ausgestattet, dieser war nicht nur als Trinkwasser und zum Waschen gedacht, sondern durch zusätzliche Bepflanzung (zur Beschattung und Luftreinigung) wurde das Wasser als adiabate Kühlung eingesetzt und sorgte damit für angenehmes Klima. erinnert man sich an persische Bauten so ist festzustellen dass diese mit Windtürme ausgestattet waren. Durch den Wind wurde damit frische Luft von außen mittels Überdruck in den Räumen gebracht. In England hat sich dieses System bereits durchgesetzt-hier ist die Nottingham University ein Beispiel für Windtürme zur natürlichen Lüftung. Das System der natürlichen Lüftung gibt es heute noch. In Wohnhausanlagen in Österreich welche im 20. Jahrhundert erbaut wurden hat man Nassräume mit einer statischen Lüftung ausgestattet - dass bedeutet es wurde in den Bädern und WC' s ein Abluftgitter montiert, wo die verbrauchte und warme Luft über einen Schacht aus natürliche Art und Weise aufsteigen kann und somit einen Lüftungseffekt erzielte. Abgesehen von der heute sehr dichten Bauweise war es damals noch möglich einen kleinen Anteil an Außenluft nachzuströmen, da die Fenster und Türen noch nicht so dicht waren. Mit diesem System konnte man durchaus einen einfachen Luftwechsel erreichen. Als Luftwechsel bezeichnet man die ausgetauschte Luft im Verhältnis zum Volumen des gelüfteten Raumes. [Käferhaus05]



**Abbildung 1: Beispiel Lüftungsturm Campus Nottingham**

## 2.3. Luftarten

Die Beschreibung der wichtigsten behandelten Luftarten bei Lüftungsanlagen ist für das weitere Verständnis der Arbeit erforderlich. Die Luftarten werden in der DIN EN 13779 wie folgt festgelegt:

| Abkürzung | Begriff   | Farbe                                 | Definition                                                                                                                                             |
|-----------|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AUL       | Außenluft | Grün                                  | Unbehandelte Luft die von außen in eine Lüftungsanlage einströmt                                                                                       |
| ZUL       | Zuluft    | Blau                                  | Behandelte Luft die in den Raum einströmt. Die Behandlung kann durch Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten erfolgen                               |
| UML       | Umluft    | Orange                                | Vorhandene Abluft wird in den Prozess der Zuluft wieder zugeführt und ggf. thermodynamisch behandelt.                                                  |
| ABL       | Abluft    | Gelb                                  | Luft verlässt den behandelten Raum und wird beispielsweise einer Wärmerückgewinnung wieder zugeführt und anschließend als Fortluft ins Freie geblasen. |
| FOL       | Fortluft  | Braun                                 | Luft die ins Freie ausgeblasen wird                                                                                                                    |
| MIL       | Mischluft | Strömung mit unterschiedlichen Farben | Luft die mehr als eine Luftart enthält ( z.B. Abluft- und Umluft)                                                                                      |

**Tabelle 1: Luftarten**

## 2.4. Anwendungsbereiche für Lüftungsanlagen

Ob in diversen Gebäuden, Maschinen, Fahrzeuge, Flugzeuge, Schiffe oder anderen Bereichen - überall dort wo Luftqualität und Behaglichkeit gefordert ist kommt eine Lüftungsanlage zum Einsatz. Die unterschiedlichen Anwendungsbereiche sind entscheidend für die Planung und Ausführung der Lüftungsanlage.

## Anwendungsbereiche für Gebäude

- Krankenhäuser
- Wohnhausanlagen
- Verkaufsstätten
- Schwimmbäder
- Bildungsstätten
- Industriehallen
- Bürohäuser

## 2.5. Lüftungsanlagen nach deren Verwendungszweck

Der allgemeine Begriff Lufttechnik bezeichnet die Versorgung bestimmter Bereiche mit Luft- wobei zwischen Raumluftechnik und Prozesslufttechnik unterschieden wird. [Fitzner08]

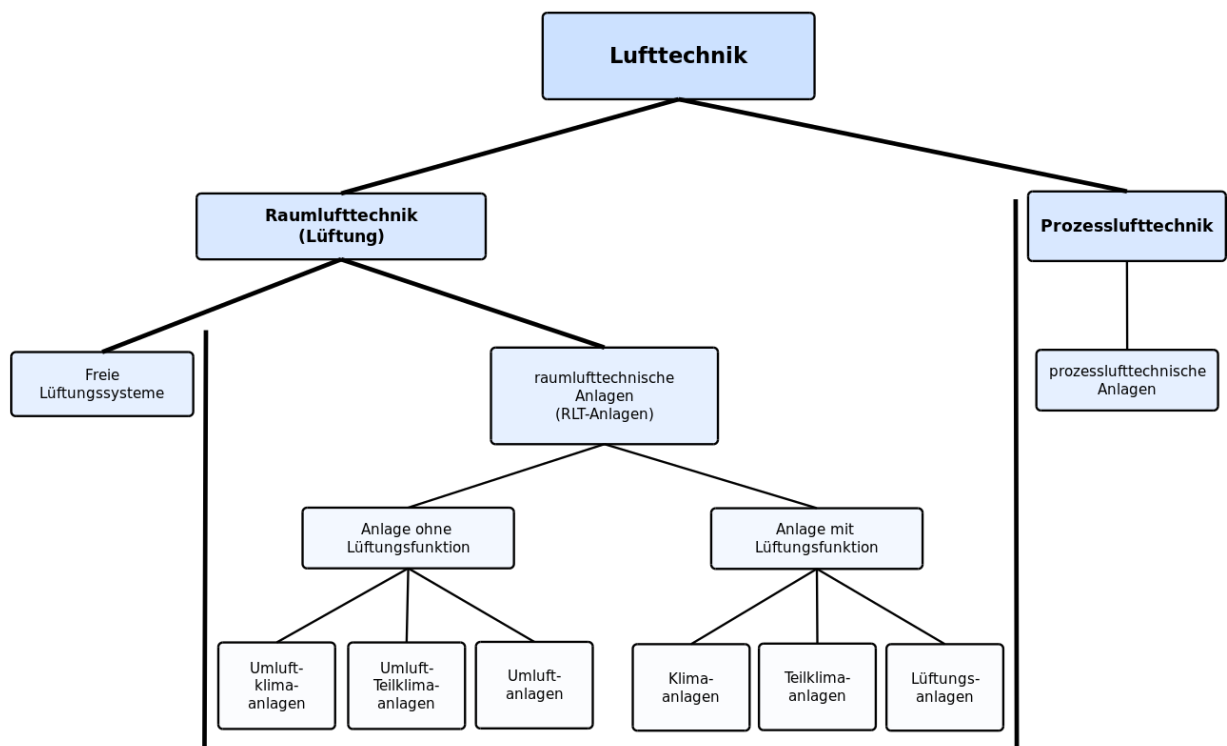


Abbildung 2: Arbeitsbereiche der Lufttechnik [Lufttech]

Der Begriff Raumluftechnik unterteilt sich in freie Lüftungssysteme und RLT Anlagen. Freie Lüftungssysteme bezeichnet man Systeme die durch natürliche Art und Weise infolge von

Wind und Thermik entstehen. Bei RLT Anlagen wird die Luftbewegung mittels eines elektrischen Antriebes umgesetzt. Der Bereich „Anlage ohne Lüftungsfunktion“ sind beispielsweise Umluft Klimaanlage. Zur Kategorie „Anlagen mit Lüftungsfunktion“ wird in dieser Arbeit der Schwerpunkt liegen. Auf die Begriffe Klimaanlage oder Vollklimaanlage und Teilklimaanlage wird nachfolgend genauer eingegangen. Die Prozesslufttechnik bezeichnet man die Luftzu- oder Luftabfuhr welche für den Prozess für Maschinen und Anlagen benötigt werden. Der Bereich Prozesslufttechnik wird in dieser Arbeit nicht weiter bearbeitet.

## **2.6. Lüftungsanlagen nach deren Luftbeförderung und thermodynamischen Funktionen [BedienRLT08]**

### **2.6.1 Luftbeförderung**

#### **➤ Zuluftanlagen**

Mit einer Zuluftanlage wird je nach Anwendung unbehandelte oder behandelte Außenluft in den Raum eingebracht. Eine thermodynamische Konditionierung kann je nach Anforderung mittels eines Erhitzers, Kühlers und eines zusätzlichen Befeuchter erfolgen. Zuluftanlagen werden in Kombination mit Abluftanlagen eingesetzt wenn die Trennung der beiden Geräte aus baulicher Sicht erforderlich ist.

#### **➤ Abluftanlagen**

Mit einer Abluftanlage erfolgt eine kontrollierte Abfuhr von verbrauchter Luft. Typische Einsatzbereiche für Abluftanlagen sind Nassräume bei Wohnungen. Hier wird in den Bädern sowie in den WCs auf kontrollierte Art und Weise mittels eines Abluftventilators verbrauchte Luft abgesaugt. Die Außenluft strömt bei einer reinen Abluftanlage über bauliche Undichtheiten, Fensterfalz oder über Nachströmöffnungen des Mauerwerkes.

#### **➤ Lüftungsanlagen**

Als Lüftungsanlage bezeichnet man eine Zuluftanlage in Kombination mit einer Abluftanlage. Diese besteht aus einer Wärmerückgewinnung - die Arten der Wärmerückgewinnung werden in Kapitel 3.2 näher behandelt. Die Abwärme aus der Abluft dient zur Erwärmung der Zuluft -

damit ist es möglich je nach Wirkungsgrad ca. 80% der vorhandenen Energie wieder rückzugewinnen.

➤ **Umluftanlagen**

Eine Umluftanlage bezeichnet man eine Lüftungsanlage bei der die Zufuhr von Außenluft in den Raum verzichtet wird. Es wird dabei nur die vorhandene Raumluft verwendet und wieder gefiltert und ggf. thermodynamisch aufbereitet. Es kommt in diesem Fall zu keiner Erneuerung der verbrauchten Luft, sondern nur zu einer Filterung, Erhitzung, Kühlung, Befeuchtung oder Entfeuchtung der vorhandenen Raumluft. Die abgeführte Luft wird direkt dem Raum wieder zugeführt. Reine Umluftanlagen sind beispielsweise Umluftklimaanlagen, Ventilatoren zur Luftumwälzung oder Umluftheizgeräte.

## 2.6.2 Thermodynamische Funktionen

➤ **Lüftungsanlage**

Als Lüftungsanlage bezeichnet man eine Anlage mit null bis einem thermodynamischen Prozess.

➤ **Teilklimaanlage**

Als Teilklimaanlagen bezeichnet man Lüftungsanlagen mit zwei oder drei der vier thermodynamischen Prozesse. ( z. B. Lufterwärmung und Luftkühlung)

➤ **Vollklimaanlage**

Als Vollklimaanlage bezeichnet man Lüftungsanlagen welche vier thermodynamische Prozesse durchlaufen – diese sind Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten.

## 2.7. Lüftungsschema

Eine Lüftungsanlage besteht aus verschiedenen Anlagenteilen, wobei nicht jede Anlage alle Komponenten beinhalten muss. Die Anlagenteile sind abhängig von der jeweiligen Anwendung und werden individuell definiert.

Die Anlagenteile werden als Symbole in einem Schema dargestellt. Darunter versteht man die Darstellung der einzelnen Komponenten einer Lüftungsanlage mit definierten Symbolen. Über eine Linie und deren Farbe wird die Luftart definiert. Die Bezeichnung der Luftart (Außenluft, Zuluft, Abluft, Fortluft) wird entweder ausgeschrieben oder mit Abkürzungen versehen.

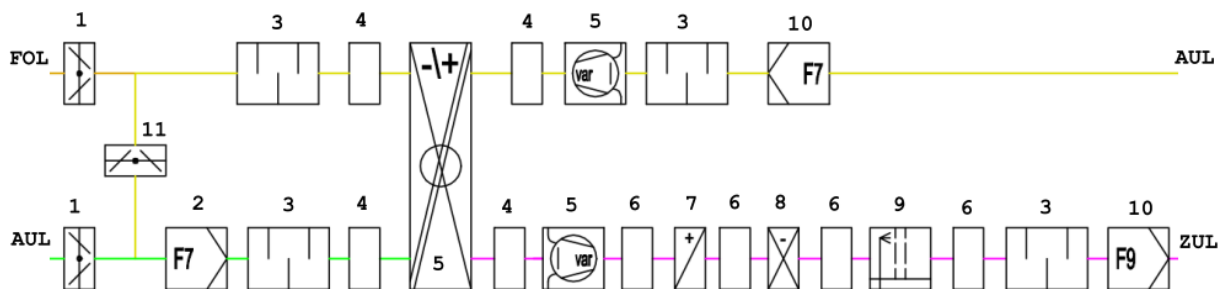


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Lüftungsanlage

Beschreibung der Symbole lt. Strangschema:

| Nr. | Beschreibung                                    |
|-----|-------------------------------------------------|
| 1   | Außenluft- und Fortluftklappe                   |
| 2   | Außenluftfilter Filterklasse F7                 |
| 3   | Schalldämpfer                                   |
| 4   | Leerteil                                        |
| 5   | Ventilator Zuluft und Abluft                    |
| 6   | Revisionsteil zur Wartung                       |
| 7   | Erhitzer                                        |
| 8   | Kühler                                          |
| 9   | adiabater Befeuchter                            |
| 10  | Zuluft- und Abluftfilter Filterklasse F9 und F7 |
| 11  | Umluftklappe                                    |

**Tabelle 2: Symbole Lüftungsschema**

## 3. Stand der Technik

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Merkmale von Lüftungsgeräten inkl. deren Einbauteile behandelt. Im technischen Bereich gibt es ständig Änderungen - vor allem bei Ventilatoren sowie bei Wärmerückgewinnung ist man stets bestrebt diese zu optimieren und zu verbessern.

### 3.1. Gehäuse

Die Gehäusekonstruktion eines Lüftungsgerätes ist ein sehr wichtiger Teil bei der energetischen Bewertung einer Lüftungsanlage. Je weniger Verluste über das Gehäuse des Gerätes entweichen, desto weniger Energie muss bei gleichen Ausgangsbedingungen investiert werden.

Ein Lüftungsgerät ist üblicherweise auf einen Grundrahmen aufgebaut. Auf diesem Grundrahmen befindet sich eine Rahmenkonstruktion, die miteinander verschraubt ist und das Grundgerüst eines Lüftungsgerätes stellt. Auf dieser Rahmenkonstruktion werden wärmedämmende Paneele so montiert, um höchste Dichtheit und geringste Verluste zu erzielen. Ein Paneel ist im Regelfall doppelwandig und besteht außen und innen aus einem verzinkten Stahlblech, je nach Hersteller und Qualität mit zusätzlicher Pulverbeschichtung. Zwischen den Stahlblechen ist eine Isolierung zwischen 30 bis 100mm aus Mineralwolle oder PU - Schaum. Um dem Paneel die erforderliche Stabilität zu geben wird umlaufend und an den Ecken ein Kunststoffrahmen montiert und mit dem beiden Blechen verschraubt oder genietet.

**Der Wärmebrückenfaktor  $k_b$**  Bestimmt die Kondensationsgefahr des RLT Gerätes. Er wird in fünf Klassen eingeteilt, wobei TB1 die beste und TB5 die schlechteste Klasse ist. [DIN EN 1886] Entscheidend für dieses Kriterium ist das gesamte Gerätegehäuse. Der theoretische Maximalwert des Wärmebrückenfaktors  $k_b = 1,0$ . Im Tabelle 1 werden die Klassen mit den dazugehörigen Wärmebrückenfaktoren mit einem Beispiel ab



welcher relativen Feuchte das Gerät zu kondensieren beginnt dargestellt: [Kondensat11]

| Gehäuse-<br>klasse | Wärmebrückenfaktor $k_b$ | Aufstell-<br>temperatur<br>Gerät | Außenluft-<br>temperatur | Kondensations-<br>beginn |
|--------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| TB1                | $0,75 \leq k_b < 1,00$   | 24°C                             | -12°C                    | 24°C/ <b>57%</b> r. F.   |
| TB2                | $0,60 \leq k_b < 0,75$   | 24°C                             | -12°C                    | 24°C/ <b>40%</b> r.F.    |
| TB3                | $0,45 \leq k_b < 0,60$   | 24°C                             | -12°C                    | 24°C/ <b>28%</b> r.F.    |
| TB4                | $0,30 \leq k_b < 0,45$   | 24°C                             | -12°C                    | 24°C/ <b>18%</b> r.F.    |
| TB5                | keine Anforderung        | 24°C                             | -12°C                    | ?                        |

**Tabelle 3: Wärmebrückenklassen mit Kondensationsbeginn [Kondensat11]**

Die **Wärmedurchgangsklasse (T)** auch U- Wert genannt entspricht dem Wärmeverlust des Lüftungsgerätes auf einer Fläche von einem Quadratmeter. Er wird in fünf Klassen eingeteilt, wobei T1 die Beste und T5 die schlechteste Klasse ist. Die Anforderungen je Klasse in der Tabelle dargestellt:

| Gehäuse-<br>klasse | Wärmedurchgangszahl<br>U [W/m²/K] |
|--------------------|-----------------------------------|
| T1                 | $U \leq 0,5$                      |
| T2                 | $0,50 < U \leq 1,00$              |
| T3                 | $1,00 < U \leq 1,40$              |
| T4                 | $1,40 < U \leq 2,00$              |
| T5                 | keine Anforderung                 |

**Tabelle 4: Wärmedurchgangsklassen [EN 1886 09]**

Als **Schalldämmung (dB)** bezeichnet man die Dämpfung des Paneels von den Lärmquellen wie Motoren, Pumpen oder sonstige Einbauteile. Die geforderten Schalldaten sind je nach Gegebenheiten abhängig, besonders zu beachten ist die Reflexion des Schalls - dabei kann es schnell zu einer Überschreitung des Lärmpegels kommen. eine hohe Auswirkung des Schallempfindens auf das menschliche Ohr hat die Frequenz. Diese wird bei RLT- Geräten

meist in folgenden Schritten angegeben 63/125/250/500/1.000/2.000/4.000/8.000 [Hz] angegeben. Sehr hohe Empfindlichkeit zeigt das Menschliche Ohr im Bereich von 500 bis 5.000 Hz. In diesem Bereich liegt die Frequenzspanne der menschlichen Stimme. [Akustika16]

Der Faktor für **Luftdichtheit (L)** gibt die Geräteleckage und damit den zusätzlichen Energieverlust bei aufbereiteter Luft an. Dabei wird mit einem speziellen Prüfverfahren ein Modelbox - Gerät einmal mit -400Pa Unterdruck und einmal mit +700Pa Überdruck geprüft. Durch die daraus gemessene Leckage lässt sich das Lüftungsgerät in eine der drei Dichtheitsklassen unterteilen:

| Dichtheits-<br>klasse | max. Lecklufrate [l/sm <sup>2</sup> ]<br>bei Prüfdruck -400Pa | max. Lecklufrate [l/sm <sup>2</sup> ]<br>bei Prüfdruck +700Pa |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| L1                    | 0,15                                                          | 0,22                                                          |
| L2                    | 0,44                                                          | 0,63                                                          |
| L3                    | 1,32                                                          | 1,90                                                          |

**Tabelle 5: Luftdichtheitsklassen**

Die **Filter-Bybass- Leckage** gibt an wie hoch die Undichtheit über den Filterrahmen ist, dass bedeutet ein geringer Anteil an Luft strömt ungefiltert zwischen dem Filterrahmen und der Filterwand. Nach DIN 1886 darf die max. Undichtheit über einen Filter der Filterklasse G1 6% des Nennvolumenstromes sein, bei der Filterklasse F9 sind es max. 0,5%. Bei höherer Filterklasse wie etwa bei den Schwebstofffiltern der Klasse H13 wird die geforderte Dichtigkeit mit dem Standard Filterrahmen nicht mehr erreicht, es werden spezielle von Filterherstellern und teilweise Geräteherstellern Filterwände gebaut, welche Hochdicht ausgeführt sind. Mehr dazu sind dem Kapitel 3.4 Filter zu entnehmen!

Bei der **Gehäusefestigkeit (D)** werden Druckschwankungen am Lüftungsgerät, welche beispielsweise durch zufallen von Brandschutzklappen eintreten, in Form von Verformung des Gerätes gemessen. Je höher die Gehäusefestigkeit, desto geringer ist die Gefahr von bleibenden Verformungen bei Druckschwankungen am RLT- Gerät.

## **3.2. Wärmerückgewinnung**

Mit Hilfe einer Wärmerückgewinnung wird die vorhandene Energie im Gebäude in Form von aufbereiteter Luft genutzt um frische Außenluft (AUL) im Winter zu erwärmen und im Sommer zu kühlen. Dieses Verfahren ermöglicht einen kontinuierlichen Luftaustausch zwischen Raum und frischer Außenluft. Die erwarteten Wirkungsgrade dieser Systeme liegen über 90%, wobei die Mindestwirkungsgrade je nach System unterschiedlich – jedoch durch die in der ErP- Richtlinie festgelegten Mindestwirkungsgrad definiert werden. Im nachfolgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Wärmerückgewinnungsarten beschrieben und gegenübergestellt. Man unterscheidet zwischen rekuperativen Systemen und regenerativen Systemen. Die Wärme des Abluftvolumenstromes wird bei dem rekuperativen Systemen direkt über die Trennwand des Wärmetauschers an die Zuluft übertragen. Es besteht bei dieser Variante der Wärmerückgewinnung keine direkte Verbindung zwischen der Außenluft und der Fortluft dadurch auch keine Vermischung und keine Übertragung der Feuchtigkeit. Die regenerativen Systeme nutzen für die Wärmeübertragung ein festes oder flüssiges Zwischenmedium, wobei die Wärmeenergie in einem Festkörper gespeichert wird und an die Zuluft übergeben wird.

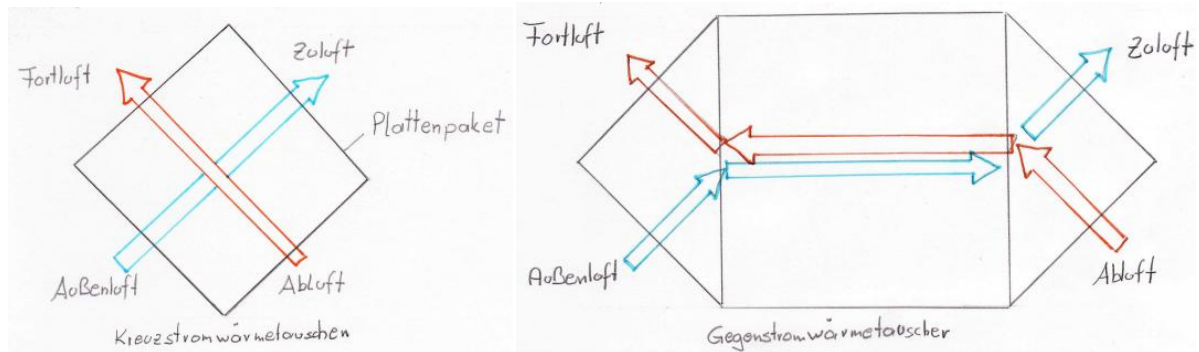
### **3.2.1. Lüftungsgerät ohne Wärmerückgewinnung**

Das Lüftungsgerät ohne Wärmerückgewinnung ist energetisch und betriebswirtschaftlich gesehen absolut nicht zu empfehlen und darf in der europäischen Union durch die ErP- Richtlinie auch nur mehr unter besonderen Vorraussetzungen eingesetzt werden. Zu diesen Voraussetzung zählen besondere Funktionen der Lüftungsanlagen, wie etwa Küchenanlage oder Prozessluftanlagen, welche explizit in der Richtlinie angeführt sind und daher ausgeschlossen wurden.

### **3.2.2. Kreuz- und Gegenstromwärmetauscher (PWT)**

Ein Kreuz- oder Gegenstromwärmetauscher besteht aus schichtweise aufgebauten nebeneinander parallelen angeordneten dünnen Platten. Das Material ist seewasserbeständiges Aluminium oder Edelstahlblech wobei die sogenannten Plattenpakete so angeordnet sind das auf den aufeinanderfolgenden Zwischenräumen die Luft abwechselnd einmal die Zuluft und daneben die Abluft durchfließt. Durch die

Temperaturunterschiede zwischen Außenluft und Abluft (Raumluft) bewirken die wärmeleitenden Platten eine Übertragung in Form von thermischer Energie.



**Abbildung 4: Skizze Kreuz- und Gegenstromwärmetauscher**

Der Wirkungsgrad dieser Wärmerückgewinnung hängt von der Wärmetauscherfläche und der Anzahl der eingebauten Platten ab.

Bei Taupunktunterschreitung der Außenluft wird sich die relative Feuchte erhöhen und in Form von Kondensat mittels speziellen im Lüftungsgerät integrierten Bodenwannen abgeleitet. Um das Vereisen des Wärmetauschers in der Fortluft zu verhindern ist für den Enteisungsvorgang eine Bypassklappe vorzusehen.

Bei dieser Art der Wärmerückgewinnung kommt es aufgrund der getrennt angeordneten Platten für Zuluft und Abluft keine Feuchteübertragung!

Der Unterschied zwischen Kreuz- und Gegenstromwärmetauscher ist die unterschiedliche Strömungsführung und die Länge des Gegenstrombereiches. Mit Gegenstromwärmetauscher werden wesentlich höhere Wirkungsgrade als bei Kreuzstromwärmetauscher erreicht. [PlattenWRG]

### 3.2.3. Rotationswärmetauscher (RWT)

Ein Rotationswärmetauscher besteht aus einer rotierenden, kreisrunden und gelochten Speichermasse die zur Hälfte von Außenluft und zur anderen Hälfte von Abluft durchströmt wird. Durch Rotation dieser Speichermasse findet ein Wärme- und Feuchteaustausch zwischen den beiden Luftströmen statt. Das eingesetzte Material der Speichermasse ist Aluminium und spezielle Beschichtungen ermöglichen eine Trocknung oder Befeuchtung der Luft.

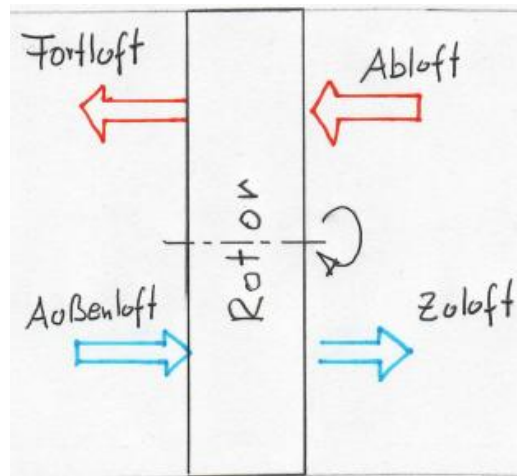


Abbildung 5: Skizze Rotor

Der Wirkungsgrad dieser Wärmerückgewinnung hängt von der Wellenhöhe, der Art der Beschichtung der Wellen und der Geschwindigkeit des Rotordrehzahlreglers ab - höhere Geschwindigkeit bedeutet höherer Wirkungsgrad.

Bei Taupunktunterschreitung der Außenluft wird sich die relative Feuchte erhöhen und in Form von Kondensat mittels speziellen im Lüftungsgerät integrierten Bodenwanne abgeleitet. Um den Rotor zu enteisen ist entweder die Geschwindigkeit des Rades bei laufender Anlage zu reduzieren (Wärmerückgewinnungsgrad dadurch kurzzeitig schlechter) oder eben eine kurzzeitige Reduzierung des Volumenstroms in der Außenluft und / oder Erhöhung des Volumenstroms der Abluft über die Speichermasse des Rotors. [ROTORWRG]

| Rotorart                   | Bevorzugter Einsatz                                                                                          |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kondensationsrotor         | Lüftungsanlagen ohne Befeuchtung und Kühlung                                                                 |
| Enthalphierotor            | Lüftungsanlagen mit Befeuchtung und ohne Kühlung                                                             |
| Sorptionsrotor             | Anlagen mit Befeuchtung und Kühlung, Reduzierung der Kälteleistung durch Trocknung und Kühlung der Außenluft |
| Epoxy- beschichteter Rotor | Anlagen mit hoher Abluftbelastung durch Industrie oder mit adiabater Kühlung                                 |
| Silicagel- Rotor           | Aktive Trocknung mit Regenerationsluft Enthalprierückgewinnung                                               |

Tabelle 6: Rotorarten mit bevorzugtem Einsatz [ROTORWRG]

### 3.2.4. Kreislaufverbundsystem (KVS)

Ein Kreislaufverbundsystem besteht aus einem Wärmetauscher in der Zuluft und einem Wärmetauscher in der Abluft mittels einer speziellen hydraulische Schaltung wird indirekt über einen flüssigen Wärmeüberträger die im Luftstrom enthaltene Energie in Form von thermische Energie übertragen.

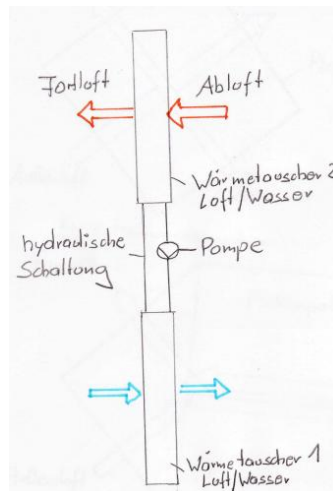


Abbildung 6: Skizze Kreislaufverbundsystem

Das System wird dort eingesetzt wo 100%ige Trennung der Luftströme Zuluft / Abluft gefordert ist und absolut hohe Anforderungen an die Hygiene gestellt werden.

Ebenfalls dort wo keine Möglichkeit besteht das Zuluft- und Abluftgerät in einem Raum zu platzieren kommt es zum Einsatz. [KVSWRG]

### 3.2.5. Wärmerohr

Von außen unterscheiden sich Wärmerohre kaum von Erhitzern oder Kühlern. Anstatt der Rohrschlangen im Inneren sind jedoch Wärmerohre eingebaut. Diese Wärmerohre bestehen aus luftleeren Lamellenröhrchen, in denen sich das Kältemittel befindet. Die Hälfte des Wärmetauschers wird von der warmen Abluft durchströmt wobei die Abluft das Kältemittel erwärmt – es entsteht eine Verdampfung und die sogenannte Verdampfungswärme wird in Form von Kondensationsleistung an die kalte Außenluft übertragen. Wärmerohre kommen bei sehr großen Lüftungsanlagen zum Einsatz wenn andere Systeme aufgrund der Baugröße nicht mehr möglich sind. [ROHRWRG]

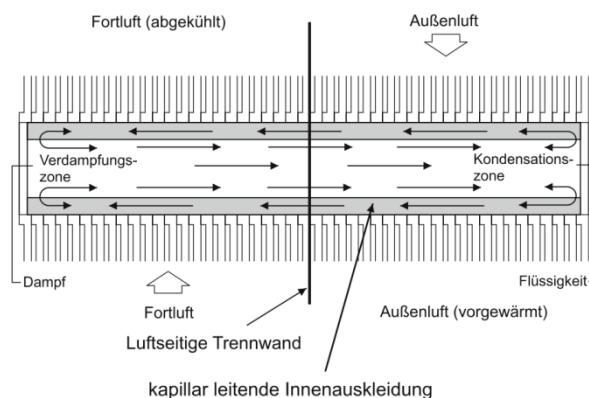


Abbildung 7: Prinzipskizze Wärmerohr [Fitzner08]

### 3.2.6. Gegenüberstellung Vor- und Nachteile der WRG Systeme

| System           | Vorteile                                                                                                                                                                                  | Nachteile                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PWT</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Geruchsübertragung möglich</li> <li>• Keine beweglichen Teile</li> <li>• Plattenpakete einfach einzubauen</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Feuchteübertragung</li> <li>• keine Regelbarkeit</li> <li>• Vereisung möglich</li> <li>• Für den Sommer ist ein Sommerbypass erforderlich</li> </ul>                                            |
| <b>Rotor</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelbare Feuchte</li> <li>• Regelbare Wärmerückgewinnung mittels Rotordrehzahlregler</li> <li>• Einfache regelbare Frostfreihaltung</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geruchsübertragung aufgrund höherer Leckage ABL/ FOL möglich</li> <li>• Dichtungen sind regelmäßig zu warten und ggf. zu erneuern</li> <li>• Rotordrehzahlregler benötigt zusätzlich Strom</li> </ul> |
| <b>KVS</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Leckage, da Luftströme voneinander getrennt, der Austausch der Medien erfolgt nur indirekt über einen wassergefüllten Kreislauf</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückwärmezahlen geringer als bei PWT oder Rotor</li> </ul>                                                                                                                                            |
| <b>Wärmerohr</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Für große Lüftungsgeräte geeignet</li> </ul>                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• geringere Rückwärmezahlen</li> </ul>                                                                                                                                                                  |

**Tabelle 7: Vor- und Nachteile der WRG Systeme [WRGSYST]**



### 3.2.7. Ansätze zur energetischen Bewertung der Wärmerückgewinnung

Aufgrund der vielfältigen Vorteile einer Wärmerückgewinnung – der Reduzierung des Lüftungswärmeverlust und dadurch erhebliche Einsparung des Heizwärmebedarfes ist bei der Planung besonders auf effiziente Dimensionierung der Wärmerückgewinnung zu achten. Neben der hocheffizienten Wärmerückgewinnung ist auch der Druckverlust über das Wärmetauscherelement entscheidend für die elektrische Leistungsausnahme des Ventilators. Bei höherer Effizienz der Wärmerückgewinnung verringert sich der zusätzliche Energieverbrauch für Heizung und Kühlung damit kann allenfalls eine Verkleinerung oder sogar ein Entfall des Heizkessels, der Kältemaschine und damit eine erhebliche Einsparung an Investitions- und Betriebskosten entstehen. Die Effizienz einer Wärmerückgewinnung wird über die Rückwärmezahl wie folgt beschrieben:

$$\Phi = \frac{T_{ABL} - T_{FOL}}{T_{ABL} - T_{AUL}}$$

### 3.2.8. Zusammenfassung Wärmerückgewinnung

Um die Lüftungsanlage energetisch und betriebswirtschaftlich für den Betreiber (Bauherrn) zu gestalten ist besondere Acht bei der Anschaffung solcher Geräte zu geben. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung wird im zweiten Teil dieser Arbeit durchgeführt. Oft werden geringfügig höhere Investitionskosten bereits nach wenigen Monaten durch geringere Betriebskosten amortisiert.

Die Wahl der Wärmerückgewinnungseinheit (Platten- WRG, Rotor, KVS, Wärmerohr) ist natürlich sehr häufig durch den speziellen Anwendungsfall vorgegeben.

## 3.3. Ventilatoren

Als Ventilator bezeichnet man eine Strömungsmaschine, die das Medium Luft in einem System in die gewünschte Richtung transportiert. Das Gesamtsystem setzt der Bewegung des Luftvolumenstromes einen Widerstand in Form von Druckunterschiede und Reibungsverluste entgegen, den die Strömungsmaschine überwinden muss. Alle Einbauteile in einer Lüftungsanlage haben einen Druckverlust, abhängig von der Luftgeschwindigkeit und

sind daher ebenso wie externe Bauteile bei der Dimensionierung für den Ventilator zu berücksichtigen. Je höher die Luftgeschwindigkeit, desto höher sind die Drücke. Die richtige Auswahl des Ventilators ist entscheidend für die energetische Betrachtung. Ventilatoren erzeugen Drucküberwindungen bis zu 30 000 Pa. Diese hohen Drücke werden jedoch meist nur bei Pumpen eingesetzt, wo die flüssigen Medien mechanische Energie in Strömungsenergie umwandeln. In der Lüftungstechnik sind Gesamtdrücke von bis zu 2000 Pa realistisch.

Ein Ventilator besteht aus einem Laufrad welches mit Schaufeln umlaufend bestückt ist und meist mit einem Gehäuse umschlossen wird, auf welchem auch die Wellenlagerung montiert wird. Es wird nach der Durchströmung des Laufrades zwischen Axialventilatoren, Radialventilatoren und Querstromventilatoren unterschieden.

### 3.3.1. Axialventilatoren

Die Luft tritt mit Unterdruck in axialer Richtung in das Laufrad, durchströmt die Schaufeln und tritt mit Überdruck axial wieder aus. Der Motor ist häufig im Laufrad integriert oder direkt hinter dem Laufrad angeflanscht, dadurch haben Axialventilatoren geringe Baulängen. Das einfachste Beispiel für einen Axialventilator ist ein freilaufendes Rad, welches als Ventilator zur Luftbewegung in Büroräumen eingesetzt wird. Bei den Axialventilatoren lassen sich die Laufradschaufeln teilweise verstellen, dadurch ist eine Veränderung von Luftmenge und Druck bei gleichbleibender Motordrehzahl möglich.

Grundsätzlich besteht der Axialventilator aus einem Laufrad mit Nabe und Schaufeln, Antriebsmotor, flexibler Stutzen für den Rohreinbau, Berührungsschutz, einer Einlaufdüse, einem Diffusor oder auch Gehäuse. In Abbildung 8 ist ein Axialventilator dargestellt.

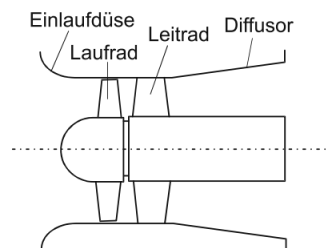


Abbildung 8: Axialventilator

### ➤ **Schaufelformen von Axialventilatoren**

Für niedrigere Drücke werden lange, flache Schaufeln mit einer kleinen Nabe eingesetzt, bei mittleren bis höheren Drücken jedoch ist die Nabe groß mit räumlich gekrümmten kurzen Schaufeln. Um den Ventilator auf den gewünschten Betriebspunkt zu regeln werden verstellbare Schaufeln eingesetzt. Die Verstellung des Schaufelwinkels erfolgt im Stillstand oder auch bei Sonderausführungen bei Betrieb. Die Verstellung der Schaufeln ermöglicht eine Veränderung der Ventilatorkennlinie und damit auch einer Änderung von Druck und Volumenstrom.

### ➤ **Bauarten von Axialventilatoren**

Bei direktem Einbau in eine Wand oder ein Fenster gibt es frei ansaugend und ausblasend sogenannte Wandringventilatoren. Mittels eines Regelungsmodul ist es möglich die Drehrechnung zu verändern und dadurch abwechselnd Luft einbringen und absaugen. Zum Einbau in ein Luftleitungsnetz mit saug- und druckseitig flexible Stutzen und bei frei ansaugenden Ventilatoren mittels Einström- bzw. Ansaugdüse werden Inline- Ventilatoren eingesetzt.

Axialventilatoren werden in RLT- Anlagen nicht eingesetzt daher werden diese auch nicht weiter behandelt. Ein typischer Ersatzbereich für Axialventilatoren sind Rohrventilatoren welche direkt in das Kanalnetz eingebaut werden.

### **3.3.2. Radialventilatoren**

Bei einem Radialventilator tritt die Luft mit Unterdruck axial in das Laufrad ein, durchströmt danach das Laufrad und tritt mit Überdruck radial wieder aus. Bei den Radialventilatoren sind die Laufradschaufeln immer feststehend. In Abbildung 8 wird der prinzipielle Aufbau eines Radialventilators dargestellt. Im Schnitt links ist ein Schnitt durch die Antriebswelle dargestellt, wobei der Antrieb, die Einströmdüse sowie der Übergang von der feststehenden Düse zum rotierenden Laufrad im Detail A dargestellt wird. Ein schmaler Spalt in der Größenordnung von ca. 1% des Laufraddurchmessers hat die Funktion dass bei Eintritt der Luft mit hohem Druck und hoher Geschwindigkeit die verzögerte Grenzschicht beschleunigt, um einen Abbruch der Strömung zu vermeiden. Diese Ventilatoren werden jedoch auch

häufig ohne Gehäuse verbaut, in diesen Fällen ersetzt das Gerätegehäuse eines Lüftungsgerätes diese Funktion.

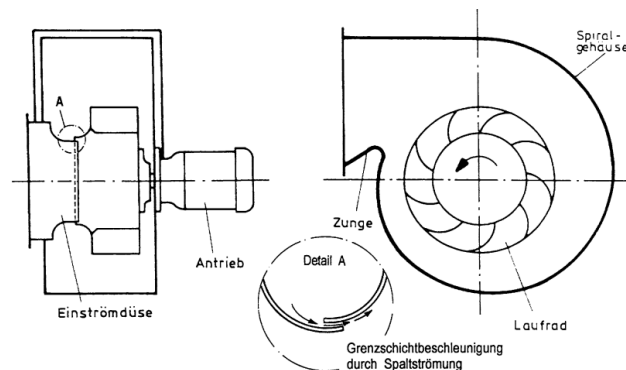


Abbildung 9: Radialventilator mit Motorantrieb[Rietschl]

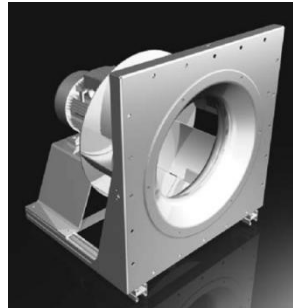
### ➤ Schaufelformen von Radialventilatoren

Bei den vorwärtsgekrümmten Schaufeln besteht das Laufrad aus vielen kurzen vorwärts gekrümmten Schaufeln. Diese Ventilatoren werden auch als Trommelläufer bezeichnet und werden bei niedrigen Drücken mit geringen Druckschwankungen eingesetzt. Bei den rückwärts gekrümmten Schaufeln besteht das Laufrad aus wenigen langen rückwärtsgekrümmten Schaufeln. Diese Ventilatoren werden auch als Hochleistungsventilatoren bezeichnet und für hohe Drücke durchaus auch bei Druckschwankungen während des Betriebes eingesetzt. (z. B. durch mehrerer Filterstufen im Lüftungsgerät)

### ➤ Bauarten von Radialventilatoren

Die Radialventilatoren sind in einseitig saugender und zweiseitig saugender Ausführung verfügbar. Die zweiseitig saugende Ausführung wird für Anwendungen bei höheren Volumenströmen eingesetzt. Das Laufrad ist mit einem Riemen mit der Motorwelle verbunden.

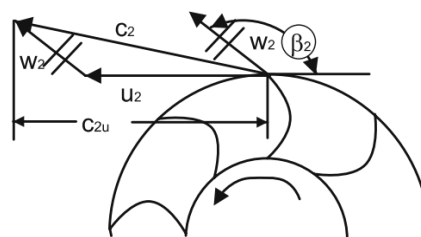
Die gängigsten eingesetzten Ventilatoren sind heute die freilaufenden Radialventilatoren einseitig saugend mit direktem Antrieb über eine Motorwelle. Durch den Wegfall des Gehäuses erreicht man eine deutliche Einsparung des Platzbedarfes. Die Laufradgröße kann individuell dem Gehäuse des Gerätes angepasst werden. Ein weiterer Vorteil, welcher für den Freiläufer spricht, ist gute Zugänglichkeit bei Wartung und Reparatur des Laufrades.



**Abbildung 10: Freiläufer mit direktem Motorantrieb**

Einer der Sonderbauformen bei Radialventilatoren sind Inline- Ventilatoren. Sie bestehen aus einem eckigen oder runden Leitungsstück, wobei meist ein einseitig saugender Radialventilator eingebaut ist. Ein sich im Laufrad befindender Außenläufermotor dient bei diesen Ventilatoren als Antrieb. Das Gehäuse wird direkt mittels einem flexiblem Stutzen mit dem Luftkanalsystem verbunden jedoch befindet sich die Ventilatereinheit direkt im Luftstrom. Eine weitere Sonderbauform ist der Dachventilator. Dieser besteht aus einem eckigen oder runden Gehäuse, wobei auch meist ein einseitig saugender Radialventilator verbaut wird. Der Ventilator saugt frei an wobei der Luftauslass je nach Ausführung waagrecht oder senkrecht ausgeführt wird. Je nach Anforderung besteht auch die Möglichkeit den Motor nicht direkt im Luftstrom zu platzieren, sondern durch ein spezielles Luftführungssystem (Gehäuse) eine Umlenkung der Luft zu ermöglichen. Bei aggressiven Stoffen in der Luft oder etwa bei hohen Temperaturen ist diese sogenannte Motorkapselung notwendig.

In Abbildung 11 ist das Geschwindigkeitsdreieck eines rückwärtsgekrümmten Laufrades dargestellt, bei Abbildung 12 ist das Geschwindigkeitsdreieck eines vorwärts gekrümmten Laufrades dargestellt.



**Abbildung 11: Geschwindigkeitsdreieck bei vorwärts gekrümmten Laufragschaufeln**

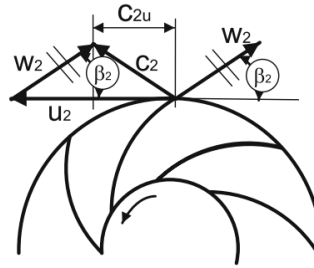


Abbildung 12: Geschwindigkeitsdreieck bei rückwärts gekrümmten Laufradschaufeln

Das Laufrad dreht sich bei den Abbildungen jeweils in Pfeilrichtung, wobei der innere Radius die zylinderformige Eintrittsebene und der äußere Radius die Austrittsebene darstellt. Das Geschwindigkeitsdreieck besteht aus drei verschiedenen Geschwindigkeiten:

- Umfangsgeschwindigkeit  $u$
- Relativgeschwindigkeit  $w$
- Absolutgeschwindigkeit  $c$

Die Umfangsgeschwindigkeit  $u$  errechnet sich mit der Drehzahl des Laufrades und dem Radius des Laufrades. Bei den vorwärts gekrümmten Schaufeln ist die Absolutgeschwindigkeit größer als bei den rückwärts gekrümmten Schaufeln. In weiterer Folge sind auch die Umfangsgeschwindigkeiten größer als bei den rückwärts gekrümmten Schaufeln. Bei rückwärts gekrümmten Schaufeln ist der Energieumsatz am Größten und dadurch auch die Verluste am Kleinsten. Es ist dabei zu achten das die Schaufeln möglichst drallfrei konstruiert werden.

### 3.3.3. Arten von Motoren

Die Auswahl des geeigneten Motors einer Lüftungsanlage hat entscheidenden Einfluss auf die energetische Bewertung einer Anlage. Dabei ist es wichtig, bereits in der Planungsphase den Betriebspunkt des Motors optimal auszulegen um die elektrische Leistungsaufnahme möglichst gering zu halten.

Im Jahre 2009 wurde von der Europäischen Union mit der ErP- Richtlinie beschlossen, die CO<sub>2</sub> Emissionen bis 2020 um mindestens 20% zu reduzieren.

Die Mindestmotorwirkungsgrade werden mit den IE- Klassen festgelegt wie folgt festgelegt:

| Anforderung ab | Leistungsbereich | Effizienzklasse         | mögl. Alternative    |
|----------------|------------------|-------------------------|----------------------|
| -              | -                | IE1 Standard Efficiency | -                    |
| 06/ 2011       | 0,75 – 375 kW    | IE2 High Efficiency     | -                    |
| 01/2015        | 7,50 – 375 kW    | IE3 Premium Efficiency  | IE2+Drehzahlregelung |
| 01/2017        | 0,75 – 375 kW    | IE3 Premium Efficiency  | IE2+Drehzahlregelung |

**Tabelle 8: IE Effizienzklassen von Motoren**

➤ **Aktueller Stand der Motorentechnologien**

- AC- Motor ( Asynchron - Motor)

Der Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer funktioniert über einen kurzgeschlossenen Rotor, welcher innenliegend platziert ist, wobei durch Induktion eines Magnetfeldes der Läuferstrom zu Stande kommt. Asynchronmotoren benötigen einen Schlupf zur Induktion des Läuferstromes. Als Schlupf bezeichnet man die Differenz zwischen der Drehzahl des Läufers und der synchronen Drehzahl des Drehfeldes. [Schlupf] Geregelt wird der Motor üblicherweise über einen Frequenzumrichter. Die Effizienzklassen dieser Motoren sind IE2 und IE3. [Tkotz05]

- EC- Motor

Beim EC- Motor auch elektronisch kommutierter Motor genannt, erzeugen Permanent-Magnete im außenliegenden Rotor ein Magnetfeld, welches ohne Schlupf synchron dem Statorfeld folgt. Der Vorteil beim EC- Motor ist das keine Schlupfverluste auftreten, die Regelung erfolgt direkt über 0-10V und die Einbaulängen sind aufgrund der sehr kompakten Bauart (Motor im Laufrad) um einiges geringer als beim Asynchron Motor. Der Nachteil ist dass diese Motoren nur bis zu einer max. Leistung von 7,5kW verfügbar sind und bei defektem Motor ist die gesamte Ventilatereinheit auszutauschen. Die Energieeffizienzklasse dieser Motoren sind IE4. [Venti11]

- PM- Motor

Beim Permanent- Magnet- erregte Synchron-Motor erzeugen die Permanent- Magnete im innenliegenden Rotor ein Magnetfeld, welches dem Statordrehfeld synchron ohne Schlupf folgt. Die neueste Motortechnologie hat sehr hohe Wirkungsgrade, da keine Schlupfverluste auftreten und die Wicklungs- und Eisenverluste gegenüber den anderen Motoren geringer sind. Diese Motoren können auch an bestehenden AC- Motoren nachträglich ausgetauscht werden. Die Effizienzklasse der Motoren ist die derzeit höchste von IE4.

### 3.3.4. Regelungsarten von Ventilatoren

Die Regelung der RLT- Anlagen ist meist mit variablem Volumenstrom auszuführen, d.h. unterschiedliche Luftmengen über mehreren Betriebszeiten wie Tag und Nachtbetrieb sind zu realisieren. Mittels vier Arten können Lüftungsgeräte möglichst stufenlos geregelt werden:

- Drosselregelung
- Beipassregelung
- Drallregelung
- Drehzahlregelung

Die früher bei alten Anlagen häufig eingesetzte Variante für die Regelung der Volumenströme ist die **Drosselregelung**. Hier werden bewusst durch externe Klappen oder Volumenstromregler die Volumenströme gedrosselt und somit entsteht eine neue Anlagenkennlinie. Das Problem dabei ist jedoch dass bei Ventilatoren mit sehr steiler Kennlinie trotz geringeren Volumenstromes der Druck steigt und somit der Ventilator nicht weniger Leistung aufnimmt, denn die Leistung ist ein Produkt aus Druck und Volumenstrom. Durch Reduzierung des Volumenstromes nimmt auch der Druck in der Anlage zum Quadrat ab - welcher wieder durch zusätzliche Drosselung kompensiert werden muss. Diese Regelungsvariante ist energetische gesehen sehr ungünstig.

Bei der **Beipassregelung** wird zwischen der Druck- und Saugseite des Ventilators eine Drosselkappe vorgesehen, dadurch wird der Volumenstrom durch den Ventilator erhöht und der Betriebspunkt pendelt sich rechts bei der Kennlinie ein. Diese Regelungsart ist zwar wie auch die Drosselregelung einfach zu realisieren, energetisch jedoch sehr ungünstig.



Bei der **Drallregelung** wird bewusst durch Drallschaufeln am Eintritt des Ventilators ein Drall erzeugt, dabei wird die tatsächliche Leistung reduziert, ohne den Wirkungsgrad zu verschlechtern.

Die am häufigsten eingesetzte Regelung bei RLT Anlagen ist die **Drehzahlregelung**. Es können sowohl AC- Motoren als auch EC- Motoren damit geregelt werden. Der Unterschied zwischen AC - und EC Motoren werden im Kapitel 3.3.5 genauer beschrieben. Die Drehzahlregelung erfolgt bei dem AC- Motoren über einen Frequenzumrichter. Ein Frequenzumrichter wandelt die Wechselspannung aus dem Netz in eine Wechselspannung mit veränderbarer Amplitude und Frequenz um. Bei Anschluss eines Motors direkt am Netz würde der Motor ständig mit der Netzfrequenz von ca. 50 Hz laufen und wäre daher nicht regelbar.

### 3.3.5. Der Ventilator in der Lüftungsanlage

Im nachfolgenden wird der Ventilator mit den unterschiedlichen Schaltungen beschrieben. Man unterscheidet zwischen Parallelschaltung und Serienschaltung.

#### ➤ **Parallelschaltung**

Unter Parallelschaltung versteht man das Schalten zweier oder mehrerer Ventilatoren nebeneinander. Dabei werden die Volumenströme auf die Ventilatoren aufgeteilt, den geforderten Gesamtdruck muss jeder Ventilator jedoch überwinden. Häufige Gründe für Parallelschaltung ist die Ausfallsicherheit. Sollte ein Ventilator ausfallen läuft immer noch der zweite oder dritte Ventilator und fördert anteilig die Luft in der Lüftungsanlage. Es ist darauf zu achten dass bei Parallelschaltung von Ventilatoren immer die identen Baugrößen verwendet werden, da sonst Probleme auftreten können.

Hinsichtlich der Regelung bei parallelgeschalteten Ventilatoren gibt es folgende Möglichkeiten:

- **Serien- oder Einzelregelung:** Ein Ventilator kann stufenlos geregelt werden in einem Bereich von ca.10-100%. Alle anderen noch parallel geschalteten Ventilatoren laufen auf Volllast. Sollte eine weitere Reduzierung des Volumenstromes erforderlich sein, wird einer oder mehrere Ventilatoren welche im Vollastbetrieb laufen ausgeschaltet

und der regelbare Ventilator stellt sich auf den gewünschten Betriebspunkt ein.

- **Parallel- und Gruppenregelung:** Alle Ventilatoren sind stufenlos regelbar und fordern den identen Volumenstrom.

Der Vorteil einer Serienregelung ist das nur ein Ventilator stufenlos regelbar sein muss, und dadurch der Regelungsaufwand und dadurch auch Preis relativ gering ist.

Bei der Parallelschaltung muss bei abschalten eines Ventilators eine Gliederklappe vor und nach dem Ventilator vorgesehen werden um eine Verwirbelung des Luftstromes zu vermeiden.

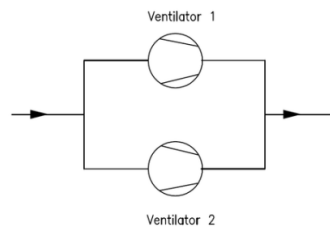


Abbildung 13: Parallelschaltung von Ventilatoren [Seyfert14]

### ➤ Serienschaltung

Unter Serienschaltung versteht man das Hintereinanderschalten mehrerer Ventilatoren. Dabei werden die Drücke der einzelnen Ventilatoren addiert und die Luftvolumenströme pro Ventilator bleiben gleich.

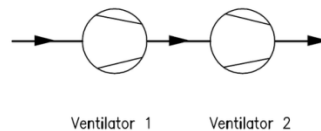


Abbildung 14: Serienschaltung von Ventilatoren [Seyfert14]

### 3.3.6. Kennlinien von Ventilatoren und Motoren

Ein idealer Betriebspunkt eines Ventilators ist die Voraussetzung für den effizienten Betrieb. Im Bild ist eine Kennlinie eines freilaufenden Radiallaufrades mit direktem Antrieb über eine Motorwelle des Ventilatorherstellers Ziehl Abegg dargestellt.

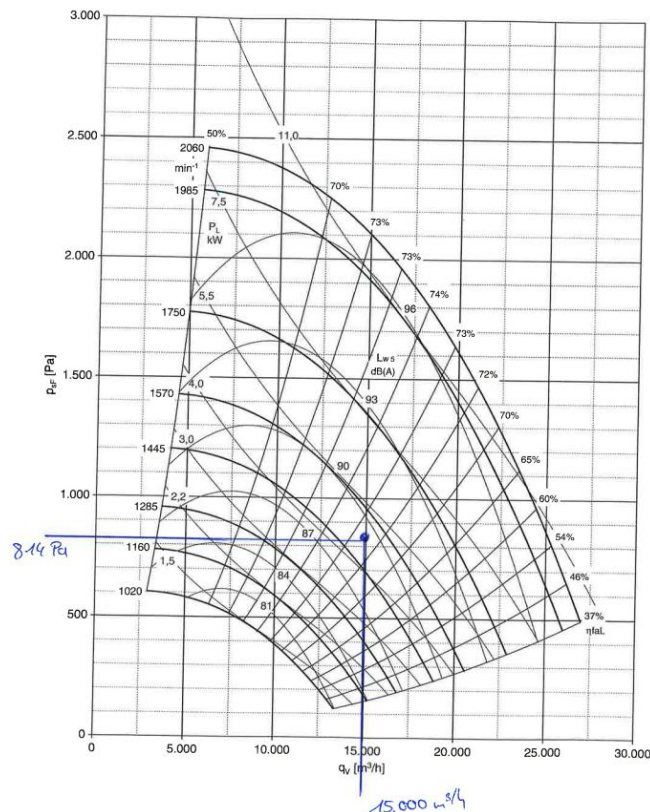


Abbildung 15: Ventilatorkennlinie

In der Ventilatorkennlinie sind sowohl die Betriebsdaten für den Ventilator als auch die für den Motor bezogenen Daten vorhanden. Der Betriebspunkt der Lüftungsanlage ergibt sich aus dem Schnittpunkte des Volumenstromes  $q_v$  in  $m^3/h$  (waagrechte Daten) mit dem Gesamtdruck  $p_{sf}$  in Pa. Für hohe Wirkungsgrade des Ventilator sollte dieser Betriebspunkt möglichst im rechten oberen Bereich liegen. Die für den Motor relevanten Daten wie Wirkungsgrad  $\eta_{faL}$  in %, Leistung  $P_L$  in kW sowie Schallangaben  $L_w$  in dB(A) sind auch diese Kennlinie zu entnehmen. Als Beispiel ist der Betriebspunkt bei einem Volumenstrom von  $15.000 m^3/h$  und einem Druck.

### 3.3.7. Berechnungsgrundlagen für die effiziente Auslegung eines Ventilators

#### ➤ Elektrische Leistungsaufnahme

Als Leistungsaufnahme  $P_{el}$  bezeichnet man die aus dem Stromnetz entnommene Wirkleistung und berechnet man wie folgt:

$$P_{el} = \left(\frac{\Delta p_{stat}}{450}\right)^{0,925} * (qv + 0,08)^{0,95}$$

$P_{el}$ ...Leistungsaufnahme [kW]

$\Delta p_{stat}$ ...Statische Druckerhöhung an der Ventilatoreinheit [Pa]

$qv$ ...Volumenstrom des Ventilators [m³/s]

#### ➤ Spezifische Ventilatorleistung [EN 13779 05]

Die Spezifische Ventilatorleistung auch SFP- Wert genannt ist das Verhältnis von aufgenommener elektrischer Ventilatorleistung [W] zum geförderten Volumenstrom [q]:

$$PSFP = \frac{P}{qv} = \frac{\Delta p}{\eta_{tot}}$$

## 3.4. Luftfilter

Ein Luftfilter ist ein wichtiger Bestandteil jeder Lüftungsanlage um saubere Luft in den Raum zu bringen und zum anderen Einbauteile in der Lüftungsanlage wie Wärmerückgewinnung, Ventilatoren, Register, Schalldämpfer, Befeuchter oder andere Einbauteile vor Verschmutzung und Verklebung zu schützen. Ein regelmäßiger Austausch der Filter ist einerseits energetisch sinnvoll, denn mit steigender Verschmutzung verringert sich die durchströmende Filterfläche - die Folgen sind höhere Geschwindigkeit über die Filtertaschen und Druckanstieg und andererseits auch aus hygienischer Sicht, z. B. zur Vermeidung von Keimbildung absolut notwendig.

Folgende Kriterien sind bei der Auswahl des richtigen Filters zu beachten:

- Filterart (Taschenfilter, Kompaktfilter, Flachfilter, Metallfilter, ...)
- Material (Glasfaser, Synthetikfaser, Metall,...)
- Filterrahmen (Holz, Kunststoff, Aluminium, Stahl, Edelstahl,..)
- Abmessungen (Normmaß oder Sondermaß)
- Filterlänge
- Filterfläche
- Filterklasse

Die bei RLT- Anlagen am meisten eingesetzten Filter die Taschenfilter, Kompaktfilter, Flachfilter, und je nach Anwendung auch Metallfilter oder Aktivkohlefilter beispielsweise zur Abscheidung von Fetten und Gerüchen. Bei sehr hohen Anforderungen kommen teilweise auch Schwebstofffilter zum Einsatz.

#### ➤ **Filterarten**

Bei den nachstehend angeführten Filtern handelt es sich um die am häufigsten eingesetzten Filter bei RLT- Anlagen. Es kann durchaus vorkommen dass andere nicht angeführte Arten von Filtern im Sonderfall eingesetzt werden.

#### ➤ **Taschenfilter**

Ein Taschenfilter besteht aus nebeneinander angeordneten Taschen welche am Filterrahmen hängen. Je größer die Anzahl der Taschen ist, umso größer auch die Filterfläche und Standzeit des Filters. Taschenfiltern sind mit unterschiedlichen Taschenlängen verfügbar z.B. 360mm, 520mm, 600mm.

#### ➤ **Kompaktfilter**

Ein Kompaktfilter besteht aus einem am Filterrahmen montierten Distanzhalter der es ermöglicht das Filtermedium in V-Form anzuordnen. Durch die V-förmige Anordnung des Filtermediums sind große Filterflächen bei verhältnismäßig geringer Länge des Filters erzielbar.

➤ **Flachfilter**

Ein Flachfilter besteht auf einem geschlossenen Filterrahmen wo das Filtermedium in zick-zack- Form dicht in den Rahmen eingebaut wird. Diese Filter ist sehr platzsparend wird dadurch häufig bei kleineren Kompaktanlagen verbaut.

➤ **Metallfilter**

Ein Metallfilter mit einem Rahmen und Filtermedium aus Aluminium oder Edelstahl wird als Vorfilter zur Abscheidung von Fetten bei Küchenabluftanlagen eingesetzt. Der Filter kann jederzeit mit Wasser und Reinigungsmittel gereinigt werden und muss daher nicht wie andere Filter erneuert werden.

➤ **Aktivkohlefilter**

Ein Aktivkohlefilter besteht aus einzelnen Patronen welche mit Aktivkohle gefüllt sind- diese dienen zur Absorption von schädlichen oder unerwünschten gas- und dampfförmigen Verunreinigungen der Luft wie z.B. Küchenabluft oder Toilettenabluft. Die Anlagerung der Atome oder Moleküle von Flüssigkeiten oder Gasen an eine feste Oberfläche wird als Adsorption bezeichnet. [ADSO] Die Filterpatronen werden auf eine Grundplatte mittels eines Bajonettverschluss längs in Luftrichtung nebeneinander aufgeschraubt.

➤ **Material des Filtermediums**

Bei den Taschenfiltern unterscheidet man zwischen Glasfaser und Synthetikfilter. Der Vorteil von Glasfasern ist dass diese gegenüber von Synthetikfasern keine elektrische Ladung annehmen können und keine Feuchtigkeit speichern und infolgedessen keine Gefahr der Durchnässung des Filters besteht. Jedoch ist durch Glasfaserfilter beim sogenannten Fasershedding (permanenter Faserbruch) eine Gesundheitsgefährdung nicht ausgeschlossen. Denn die dünnen Fasern gelangen durch einatmen in die oberen Atemwege und werden durch die Schleimhaut nach unten in die Lunge, wo sie nicht mehr abtransportiert werden können.

➤ **Filterklassen**

Die Filterklassen werden nach dem Abscheidegrad oder auch Wirkungsgrad des Filters nach [ÖNORM DIN EN 779] festgelegt. Diese unterscheidet drei unterschiedliche Filtergruppen: Grob, Medium und Fein. Die Gruppe grob umfasst die Filterklassen G1 bis G4. In die Gruppe Medium sind Filter mit der Filterklasse M5 bis M6 einzuordnen und in der Gruppe Fein sind Filterklassen F7 bis F9 eingeordnet. Geprüft werden die Filter nach einer max. Prüfdruckdifferenz von 250Pa bei Großstaubfiltern und 450Pa bei Medium- und Feinfilter. Anhand eines Prüfstandes wird der Abscheidegrad der Partikeln aus der Luft geprüft und nach Klassen eingeteilt. Bei sehr hohen Anforderungen an die Raumluftechnik wie etwa in medizinischen Bereichen oder auch Laboratorien kommen Schwebstofffilter zur Abscheidung von Viren, Keimen, Aerosolen oder toxischen Stäuben zum Einsatz. [HEPA] Jedoch werden Schwebstofffilter auch in der Abluft eingesetzt etwa zur Abscheidung von toxischen oder radioaktiven Partikeln oder auch bei Schweiß- oder Lötgerüchen. Schwebstofffilter werden als HEPA- Filter bezeichnet werden je nach Klassifizierung auch als EPA oder ULPA Filter bezeichnet. Diese Filter sind aufgrund deren hochwertigen Aufbaues in der Lage Partikel mit einem Durchmesser von unter 1 µm abzuscheiden.

| Filterbezeichnung               | Filterklasse | Mittlerer Abscheidegrad (Am) des synthetischen Prüfstaubes    | Bauart                                          |
|---------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Grobstaubfilter                 | G1           | $50 \leq Am < 65$                                             | Taschenfilter, Rollbandfilter                   |
|                                 | G2           | $65 \leq Am < 80$                                             |                                                 |
|                                 | G3           | $80 \leq Am < 90$                                             |                                                 |
|                                 | G4           | $90 \leq Am$                                                  |                                                 |
|                                 |              | Mittlerer Wirkungsgrad (Em) bei Partikeln von $0,4 \mu m$ [%] |                                                 |
| Feinstaubfilter                 | M5/F5        | $40 \leq Em < 60$                                             | Taschenfilter, Plattenfilter, Filterkassetten   |
|                                 | M6/F6        | $60 \leq Em < 80$                                             |                                                 |
|                                 | F7           | $80 \leq Em < 90$                                             |                                                 |
|                                 | F8           | $90 \leq Em < 95$                                             |                                                 |
|                                 | F9           | $95 \leq Em$                                                  |                                                 |
|                                 |              | Integralwert Abscheidegrad [%]                                |                                                 |
| Schwebstofffilter               | H10          | 85                                                            | Plattenfilter, Filterkassetten, Sonderbauformen |
|                                 | H11          | 95                                                            |                                                 |
|                                 | H12          | 99,5                                                          |                                                 |
|                                 | H13          | 99,95                                                         |                                                 |
|                                 | H14          | 99,95                                                         |                                                 |
| Hochleistungs-schwebstofffilter | U15          | 99,9995                                                       | Plattenfilter                                   |
|                                 | U16          | 99,99995                                                      |                                                 |
|                                 | U17          | 99,999995                                                     |                                                 |

Tabelle 9: Filterklassen inkl. Abscheidegrad

Zur Überwachung der Filterverschmutzung bei Betrieb eines RLT Gerätes werden Differenzdruckwächter eingesetzt. Mit Hilfe des von Hersteller angegebenen Anfangsdruckverlust und Enddruckverlust kann die Filterqualität überwacht werden. Als



Anfangsdruckverlust bezeichnet man jenen Druck, den ein neuer unverschmutzter Filter bei Durchströmung der Luft ausweist. Als Enddruckverlust wird vom Hersteller der höchste angegebene Druck bei voller Filterverschmutzung angegeben. Da der Druck bei steigender Filterverschmutzung aufgrund der Schmutzpartikeln im Filter und dadurch Reduzierung der Filterfläche steigt - kann mittels Differenzdruckwächter diese Druckerhöhung gemessen und ein Signal zur Filterwartung weitergegeben werden. (z. B. an eine Anzeige oder Regelung) Für die Ventilatordimensionierung wird häufig ein gemittelter Wert angesetzt.

### **3.5. Schalldämpfer**

In jeder Lüftungsanlage ist der Ventilator der Schallerzeuger. Um den Schall am Lufteintritt und Luftaustritt zu reduzieren werden saug- und druckseitig Kulissenschalldämpfer eingesetzt. Entscheidend für die Schallentwicklung in einem Lüftungsgerät ist die Luftgeschwindigkeit, die Anströmung der Luft und diverse Einbauteile. Geringe Schallreduzierung erreicht man durch Einbauteile wie Wärmerückgewinnung, Register oder Filter, da diese Dämpfung jedoch oft nicht ausreicht müssen Geräteschalldämpfer und bei hohen Anforderungen auch noch zusätzlich Kanalschalldämpfer eingesetzt werden. Die Länge der Kulissen des Schalldämpfers sind abhängig von den geforderten Schallanforderungen. Bei sehr hohen Luftgeschwindigkeiten ist es möglich, dass das Strömungsrauschen über die Schalldämmkulissen höher als der Schalldämmeffekt ist, das würde bedeuten dass auch bei Verlängerung des Schalldämpfers keine Schallreduzierung bewirkt wird - in diesem Fall ist eine Vergrößerung des Querschnittes und dadurch Reduzierung der Luftgeschwindigkeit im Lüftungsgerät erforderlich!

Der Kern des Schalldämpfers besteht aus Mineralwolle, wobei diese aus hygienischen Gründen mit abriebfestem Glasseidengewebe überdeckt ist. Die Konstruktion sowie die Abstände der Kulissen sind so zu definieren, um eine möglichst strömungsgünstige An-, Ab- und Durchströmung des Schalldämpfers zu erzielen.

### 3.6. Heizregister und Kühlregister

#### ➤ Heizregister

Heizregister oder auch Erhitzer genannt haben die Aufgabe die kalte Luft auf eine gewünschte Temperatur zu erwärmen. Nach dem Heizkörperprinzip wird von einem anderen Medium (Wasser, Dampf, Strom ) bereitgestellte Energie in Form von Wärme auf die durchströmende Luft übertragen. Bei diesem Prozess nimmt der Volumenstrom aufgrund des Dichteunterschiedes zu, der Massenstrom bleibt jedoch unverändert.

#### ➤ Lamellenrohr Lufterhitzer

Der Lamellenrohr Lufterhitzer besteht aus berippten, korrosionsbeständigen Rohren in welchen sich das Medium befindet, dabei strömt die Luft außen zwischen den Rippen vorbei. Je mehr Rohrreihen ein Erhitzer besitzt, desto größer die Oberfläche und dadurch auch die Wärmeübertragung. [Keller09] Die Rippenrohre werden senkrecht oder waagrecht eingebaut wobei die Rohrlänge und die Paketbreite je nach erforderlicher Leistung und Größe des Wärmetauschers variieren. Das Material der Lamellen oder auch Rippen ist aus Aluminium, Kupfer, Edelstahl oder verzinktem Stahl – je nach Anwendungsfall und Luftqualität wird das entsprechende Material eingesetzt. Die Lamellenstärke  $\delta_{\text{lam}}$  sind üblicherweise zwischen 0,10 bis 0,5mm, die Lamellenabstände  $s_{\text{lam}}$  zwischen 1,5 bis 5mm- wobei bei Lamellenabständen unter 2mm abzuraten ist, da der Wärmetauscher bei zu geringen Abständen zu schnellerer Verschmutzung neigt. In der Abbildung 15 wird der prinzipielle Aufbau eines Lufterhitzers dargestellt. Um bei den Lamellen eine Stabilität zu erreichen werden diese gewellt oder in zickzack gekantet, unter Berücksichtigung dass ein möglichst geringer Widerstand und Druckverlust bei Durchströmung des Wärmetauschers entsteht. In Abbildung 13 werden beispielhafte gestanzte Lamellenpakete dargestellt. Bei den im Bild sichtbaren Löchern werden später die Kupferrohre mechanisch mit einem Dorn oder hydraulisch durch Innendruck soweit ausgeweitet, sodass die Lamellen fest an den Rohren anliegen und somit eine gute Wärmeleitfähigkeit gegeben ist. Die Löcher für die Rohre sind versetzt angeordnet und bei eingepressten Rohren werden die Lamellenpakete von einem Rahmen umgeben, damit das Tauscherpaket die notwendige Stabilität erreicht und das ein- und ausbauen in das Lüftungsgerät möglich ist.

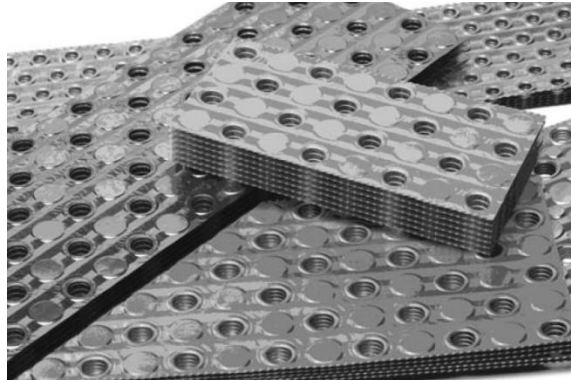


Abbildung 16: Materialien gestanzter Lamellenpakete

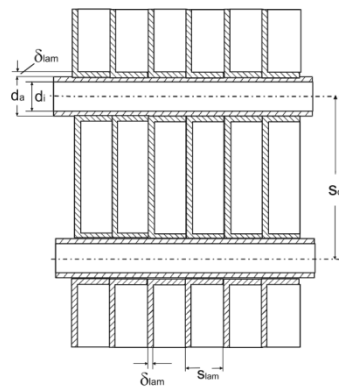


Abbildung 17: Aufbau eines Heizregisters

Der Wärmestrom  $Q$  durch die Rohrwand eines Wärmetauschers errechnet sich aus dem Wärmedurchgangskoeffizient, der Wärmetauscherfläche, sowie aus der spez. Wärmeleistung wie folgt:

$$Q = k * A * \Delta t$$

$Q$ ...Wärmestrom (  $J/s = kgm^2/s^3 = W$  )

$k$ ...Wärmedurchgangskoeffizient (  $W / (m^2 \cdot K)$  )

$\Delta t$ ...Temperaturdifferenz (  $K$  )

Um die Temperaturdifferenz zu erhalten ist die Gleichung auf  $\Delta t$  umzuformen:

$$\Delta t = \frac{1}{k * A} * Q$$

➤ **Kühlregister**

Kühlregister oder auch Luftkühler genannt hat die Aufgabe die Raumluft zu kühlen und/oder zu entfeuchten. Von außen unterscheiden sich Luftkühler kaum von Luftherhitzern. Das eingesetzte Material ist ebenfalls Kuper und Aluminium wie bereits bei den Erhitzern erwähnt. Die physikalischen Gesetze sind gleich, es ist nur zu beachten, dass sich die Vorzeichen ändern. Ein Luftkühler ist bei Auslegung auf die gleiche Leistung eines Luftherhitzers jedoch wesentlich breiten, im Falle das der Kühler mit Wasser betreiben wird die Temperaturdifferenz zwischen Medium- und Lufttemperatur aufgrund des Gefrierpunktes geringer ist. Auch beim Einsatz von Kältemittel würde es aufgrund anfallenden Kondensates zur Vereisung des Wärmetauschers kommen. Der große Unterschied zum Luftherhitzern ist die Taupunktunterschreitung und das anfallen des Kondensates, welches abgeführt werden muss. Wird der anstatt dem Medium Wasser ein Kühlmittel eingesetzt, so bezeichnet man den Kühler als Direktverdampfer. [Fitzner08] Aufgrund der größeren Baugröße des Luftkühlers gegenüber dem Luftherwärmer ist auch der Druckverlust bei gleicher Leistung höher, daher ist häufig der Luftkühler eine sehr kritische Komponente im Lüftungsgerät.

### **3.7. Befeuchter**

Befeuchter für RLT- Anlagen werden nach der Art der thermodynamischen Zustandsänderung unterschieden in isotherme Befeuchtung und adiabate Befeuchtung. Bei der Isothermen Befeuchtung ändert sich die relative Feuchtigkeit bei gleichbleibender Temperatur (geringe Erwärmung möglich). Bei der adiabaten Befeuchtung ändert sich Temperatur und relative Feuchte. Diese werden im Wasserbefeuchter und Dampfbefeuchter eingeteilt.

➤ **Wasserbefeuchter**

Beim Wasserbefeuchter wird das Wasser in den Luftstrom eingebracht. Wie das Wasser eingebracht wird hängt von der Ausführung des Befeuchters ab. Oft eingesetzt werden Sprühbefeuchter - hier wird das Wasser mittels Düsen und Wasserdruck im Luftstrom zerstäubt und es entsteht dadurch ein Wasserregen mit großer Tropfenoberfläche. Anstatt Düsen werden auch Schleuderscheiben oder rotierenden Düsen zur Zerstäubung eingesetzt. Eine weitere Art der Verteilung des Wassers ist der Rieselbefeuchter. Dabei strömt Wasser

über einen Körper wie etwa über Befeuchterwaben oder auch Filterflies. Die Befeuchter arbeiten meist im Umlaufwasserbetrieb wobei je nach Verschmutzung des Wassers regelungsseitig die Möglichkeit besteht Frischwasser einzuspeisen.

➤ **Dampfbefeuchter**

Beim Dampfbefeuchter wird Dampf außerhalb des RLT- Gerätes erzeugt und mit speziellen Verteilrohren wird Dampf in den Luftstrom eingebracht. Diese Dampfverteilrohre befinden sich im Luftstrom und werden dort abgekühlt. Durch die Abkühlung entsteht Kondensat, das häufig unerwünscht die Luft erwärmt.

### **3.8. Klappen**

Gliederklappen werden stirnseitig am Lüftungsgerät montiert um die Luftströme zu regeln sowie ungewollte Luftströme zu verhindern. Einsetzt werden Sie meist bei einem Lüftungsgerät in der Außenluft und in der Fortluft. Bei parallel betriebenen Ventilatoren dienen Sie im Störfall zur Abschottung der Ventilatorkammer. Ebenso werden Klappen für Bypassfunktion und Umluftbetrieb eingesetzt. Bypassfunktion bedeutet ein bewusstes umgehen einzelner Bauteile wie etwa der Wärmerückgewinnung um im Sommer die Möglichkeit der direkten Ansaugung der Außenluft zu ermöglichen. Wird ein Teil der abgeführten Luft wieder einer thermodynamischen Behandlung sowie einer Filterung in die Zuluft eingebracht ist dies mit einer Umluftklappe möglich. Zur Regelung der Klappen bestehen mehrere Möglichkeiten wie etwa die Öffnung und Schließung über eine Handverstellung oder die Regelung der Klappe stetig oder auf/zu über einen elektronischen Stellmotor. Klappen sind in eckiger oder runder Ausführung verfügbar und haben ebenfalls die Funktion im Brandfall zu schließen – spezielle Klappen auch Brandschutzklappen genannt haben diese Aufgabe zu erfüllen.

### **3.9. Ansaug- und Ausblasbauteile**

Ansaug- und Ausblasbauteile haben die Aufgabe eine wetterfeste Durchströmung der Luft zu ermöglichen und zugleich dafür zu sorgen dass Sie entsprechend vor dem Eindringen unerwünschter Bauteile oder Lebewesen geschützt sind. Sie schützen das Kanalsystem sowie das RLT- Gerät und je nach Anwendung werden unterschiedliche Systeme eingesetzt.

---

Beispiele für Bauteile welche diese Funktion erfüllen sind Ansaug- und Ausblashauben, Deflektorhauben, Ansaug- und Ausblastürme sowie Wettschutzgitter. zum Schutz vor dem Eindringen unerwünschter Bauteile wie vorhin erwähnt werden häufig Maschengitter verbaut.

[Haube]

## 4. Einleitung Shoppingcenter

Eine Verbesserung des Lüftungssystems ist nur möglich wenn dafür einige Voraussetzungen gegeben sind. Dafür müssen die von der Anlage zu erfüllenden Aufgaben eindeutig definiert werden und die Bestandslösung bekannt sein. Insbesondere Betriebszeiten sowie gewünschte Temperatur und Feuchtezustände sind entscheidend für die Bewertung einer Lüftungsanlage. Im Kapitel 5 werden die Randbedingungen der Bestandslösung definiert, danach werden die Ziele der Optimierung definiert und umgesetzt. Raumluftechnische Lüftungsanlagen sollen unter Berücksichtigung des gesamten Lüftungssystems mit dem Ziel in folgenden Bereichen optimiert werden: Minimierung des jährlichen Energiebedarfes, einer Minimierung der jährlichen Energiekosten, Minimierung der Investitionskosten, einer Minimierung des Schadstoffausstoßes, einer Minimierung der Lebenszyklusgesamtkosten und einer Maximierung der Betriebssicherheit.

Das Shoppingcenter besteht aus fünf Lüftungszentralen in welchen je zwei Lüftungsgeräte untergebracht sind. Die Lüftungszentralen befinden sich am Dach und sind wetterfest komplett eingehaust. Die Gerätezentralen werden benannt nach Klima 1 bis Klima 5. In der Lüftungsanlage Klima 1 sind die Geräte L01 Restaurant / Küche und L02 Shop Nord untergebracht. In der Gerätezentrale Klima 2 sind die Geräte L03 Shop Lebensmittel und L04 Shop Süd untergebracht. In der Gerätezentrale Klima 3 sind die Geräte L05 Shop Ost und L06 Mall untergebracht. In der Gerätezentrale Klima 4 sind die Geräte L07 Interspar Verkauf und L08 Interspar Nebenräume untergebracht. In der Gerätezentrale Klima 5 sind die Geräte L09 Hervis und L10 Lager/Nebenräume untergebracht.

Ein Zugang zu den Geräten ist entweder über einen außenliegenden über die Fassade montierten Aufstieg oder direkt über das Shoppingcenter möglich. Alle Geräte sind ausgenommen eine geringen Schwankung der Luftmenge vom Aufbau und von den Einbauteilen ident. Aufgrund des sehr identen Aufbau aller Lüftungsgeräte wird die Anlage Restaurant mit der Zone Restaurant und Zone Küche für die Bewertung in dieser Arbeit behandelt. Bei der ökonomischen Bewertung fließen in die Berechnung alle 10 Lüftungsgeräte in die Berechnung ein.

## 5. Altbestand Shoppingcenter

Nachstehend wird das Bestandslüftungsgerät L01 Restaurant / Küche aus dem Jahre 1991 angeführt und deren technische Eckdaten beschrieben sowie das Gerät mittels der Geräteskizze dargestellt.

### 5.1. Technische Daten des Lüftungsgerätes L01 Restaurant / Küche

Das Bestandslüftungsgerät ist ein kombiniertes Zu- und Abluftgerät und besteht aus folgenden Komponenten in Luftrichtung: Zuluft: flexibler Anschlussstutzen, Gliederklappe, Filter, Schalldämpfer, Kreuzstromplattenwärmerückgewinnung, Ventilator, Schalldämpfer, Zone 1 mit Lufterwärmer und Luftkühler, Zone 2 mit Lufterwärmer und Luftkühler Abluft: Filter, Schalldämpfer, Ventilator, Kreuzstromplattenwärmerückgewinnung, Schalldämpfer, flexibler Anschlussstutzen, Gliederklappe

Nachstehend wird das Bestandslüftungsgerät nach deren technischen Spezifikation angeführt:

|                                           |                            |
|-------------------------------------------|----------------------------|
| Aufstellung                               | Technikzentrale Innenraum  |
| Anordnung der Luftströme                  | nebeneinander              |
| Volumenstrom Zuluft / Abluft              | 44.960m³/h / 44.960m³/h    |
| Luftgeschwindigkeit Zuluft / Abluft       | 2,5m/s                     |
| Druckverlust extern Zuluft / Abluft       | 450Pa / 500Pa              |
| Abmessungen Zuluft: Höhe / Tiefe / Breite | 2.375 / 2570 / 11.325 (mm) |
| Abmessungen Abluft: Höhe / Tiefe / Breite | 2.375 / 2.570 / 8.325 (mm) |

#### Geräteaufbau – Zuluft in Luftrichtung:

##### Flexibler Anschlussstutzen

##### Gliederklappe

|              |      |
|--------------|------|
| Druckverlust | 10Pa |
|--------------|------|

##### Filter

|                     |                          |
|---------------------|--------------------------|
| Filtertpe           | Taschenfilter Klasse EU4 |
| Anfangsdruckverlust | 25Pa                     |



Dimensionierter Druckverlust f. Ventilator 125Pa

Die Filterbezeichnung EU4 ist die alte Bezeichnung der DIN 24185. Diese Klasse entspricht nach der aktuellen Filternorm DIN EN 779 der Klasse G4.

### Schalldämpfer

Kulissenlänge 1200mm

Druckverlust 30Pa

### Wärmerückgewinnung

Kreuzstromplattenwärmetauscher PWT

Außenlufttemperatur / relative Feuchte -12°C / 90 % r. F.

Zulufttemperatur 7,5°C

Druckverlust Zuluft / Abluft 325Pa / 387Pa

Rückwärmezahl trocken 54,3%

### Ventilator / Motor

Typ 3 stufig mit Riemenantrieb

P<sub>el</sub> 19,9kW

Stromaufnahme 44,9A

Gesamtwirkungsgrad 61,6%

Schallleistung nur Ventilator 96,3 dBA

### Schalldämpfer

Kulissenlänge 1500mm

Druckverlust 30Pa

### Zone1 - Küche

Volumenstrom 23.524 m³/h

Druckverlust 171 Pa

Lufterhitzer PWW ( Pumpenwarmwasser )

Luft Eintrittstemperatur 9°C

Luft Austrittstemperatur 23°C

Medium Wasser

Mediumtemperatur Eintritt 80°C

Mediumtemperatur Austritt 40°C

Heizleistung 115 kW

Luftkühler PKW ( Pumpenkaltwasser )

Luft Eintrittstemperatur / relative Feuchte 29,5°C / 46%

Luft Austrittstemperatur / relative Feuchte 18°C / 86%

Medium Wasser

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| Mediumstemperatur Eintritt | 8°C    |
| Mediumstemperatur Austritt | 14°C   |
| Kühlleistung               | 137 kW |

**Zone2 - Restaurant**

|                                             |                        |
|---------------------------------------------|------------------------|
| Volumenstrom                                | 21.300 m³/h            |
| Druckverlust                                | 171Pa                  |
| Lufterhitzer                                | PWW (Pumpenwarmwasser) |
| Luft Eintrittstemperatur                    | 9°C                    |
| Luft Austrittstemperatur                    | 23°C                   |
| Medium                                      | Wasser                 |
| Mediumstemperatur Eintritt                  | 80°C                   |
| Mediumstemperatur Austritt                  | 40°C                   |
| Heizleistung                                | 104 kW                 |
| Luftkühler                                  | PKW (Pumpenkaltwasser) |
| Luft Eintrittstemperatur / relative Feuchte | 29,0 °C / 46%          |
| Luft Austrittstemperatur / relative Feuchte | 14,8°C / 94%           |
| Medium                                      | Wasser                 |
| Mediumstemperatur Eintritt                  | 8°C                    |
| Mediumstemperatur Austritt                  | 14°C                   |
| Kühlleistung                                | 98 kW                  |

**Geräteaufbau - Abluft in Luftrichtung:****Filter**

|                                            |                          |
|--------------------------------------------|--------------------------|
| Filtertype                                 | Taschenfilter Klasse EU4 |
| Anfangsdruckverlust                        | 25Pa                     |
| Dimensionierter Druckverlust f. Ventilator | 125Pa                    |

Die Filterbezeichnung EU4 ist die alte Bezeichnung der DIN 24185. Diese Klasse entspricht nach der aktuellen Filternorm DIN EN 779 der Klasse G4.

**Schalldämpfer**

|               |        |
|---------------|--------|
| Kulissenlänge | 1200mm |
| Druckverlust  | 30Pa   |

**Ventilator / Motor**

|                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| Typ                           | 3 stufig mit Riemenantrieb |
| P <sub>el</sub>               | 20,4kW                     |
| Stromaufnahme                 | 44,0A                      |
| Gesamtwirkungsgrad            | 60,0%                      |
| Schallleistung nur Ventilator | 96,4 dBA                   |

**Wärmerückgewinnung**

Kreuzstromplattenwärmetauscher PWT

Druckverlust

387Pa

Ablufttemperatur / relative Feuchte

22°C/ 40% r. F.

Rückwärmezahl trocken

49,4%

**Schalldämpfer**

Kulissenlänge

1200mm

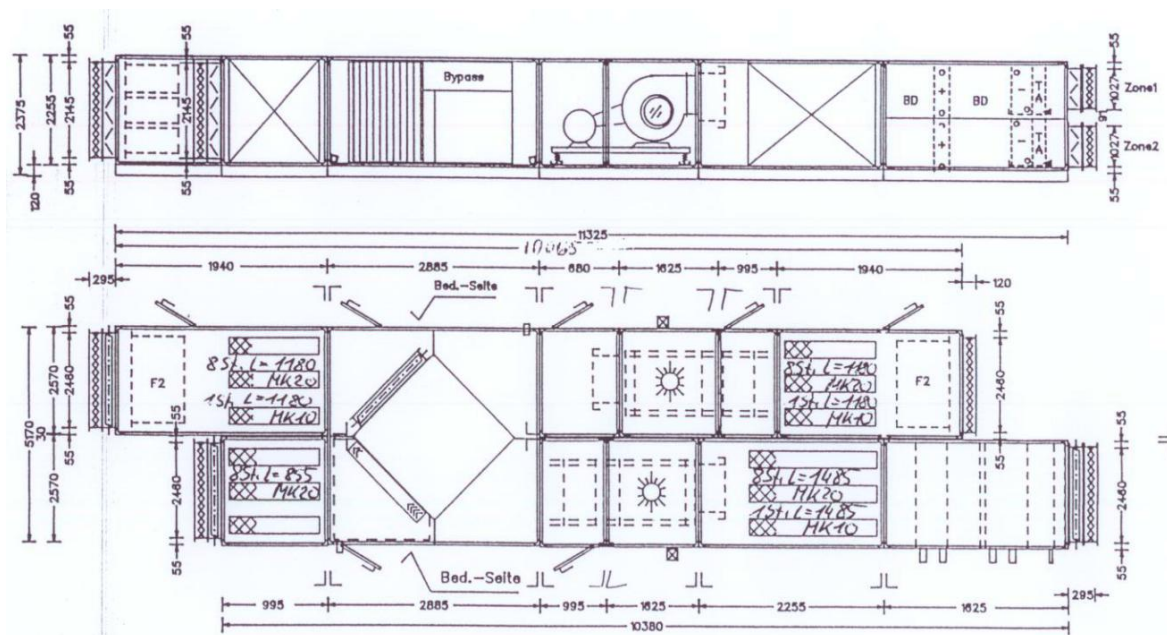
Druckverlust

30Pa

**Gliederklappe**

Druckverlust

10Pa

**Flexibler Anschlussstutzen****5.2. Geräteskizze des Lüftungsgerätes L01 Restaurant / Küche****Abbildung 18: Geräteskizze Bestandsgerät**

In der angeführten Geräteskizze ist der Aufbau des bestehenden Lüftungsgerätes L01 Restaurant / Küche dargestellt. Wie aus der Skizze zu entnehmen ist der Platzbedarf für die riemengetriebenen Ventilatoren sehr hoch – bei direkt getriebene Ventilatoren ist dieser

---

Platzbedarf um einiges geringer. Diese Ventilatoren werden ohnehin heute nicht mehr eingesetzt da Sie vom Wirkungsgrad bedingt durch die Schlupfverluste des Riemens relativ schlecht sind.

## 6. Maßnahmen zur Verbesserung der Lüftungsanlage

Um das Lüftungsgerät energetisch zu verbessern müssen bereits vor der Planung der neuen Lüftungsanlage die Verbesserungsmöglichkeiten unter Betrachtung des Gesamtsystems definiert werden. Diese Möglichkeiten sind mit dem zuständigen Planungsbüro oder mit dem Bauherrn vor Ort abzuklären, um das Gerät nach den örtlichen Gegebenheiten wie verfügbaren Platzbedarf für die Geräte, zu dimensionieren. Es konnten folgende Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz der Lüftungsanlagen für das Shoppingcenter definiert werden:

### ➤ Geringere Luftgeschwindigkeit im Gerät

- |                 |         |
|-----------------|---------|
| • Bestandsgerät | 2,5m/s  |
| • Neugerät      | 1,92m/s |

Geringere Luftgeschwindigkeit hat einen wesentlichen Einfluss auf das Strömungsverhalten der Luft und dadurch auf das Schallverhalten, ebenso einen großen Einfluss auf den Druckverlust der Wärmerückgewinnung und den Druckverlusten der Erhitzer und Kühler. Durch eine Reduzierung der internen Drücke über die Einbauteile des raumluftechnischen Gerätes wird die benötigte elektrische Leistungsaufnahme des Ventilator erheblich reduziert.

### ➤ Minimierung der Druckverlustes außerhalb des RLT- Gerätes

- |                                        |                |
|----------------------------------------|----------------|
| • Bestandskanalführung Zuluft / Abluft | 450 Pa / 500Pa |
| • Neukanalführung Zuluft / Abluft      | 300 Pa / 300Pa |

Der Druckverlust außerhalb des raumluftechnischen Gerätes ist ein entscheidender Faktor der Leistungsaufnahme des Ventilators - je geringer er ist desto weniger Leistung muss der Ventilator aufbringen. Die Position des Lüftungsgerätes wurde so verändert sodass die Zuluft- und Abluftkanalführung möglichst nahe an den Versorgungsbereichen befindet. Dadurch konnten einige Meter an Leitungsführung eingespart werden und die Leitungslänge sowie der Druck wurden reduziert. Im Zuge der Erneuerung wurde das Kanalsystem möglichst quadratisch, mit geringerer Luftgeschwindigkeit und weniger Richtungsänderungen ausgeführt. Der größere Platzbedarf durch die größeren Lüftungskanäle stand bei den örtlichen Gegebenheiten zur Verfügung! Als Verzweigungen zu den Versorgungsbereichen

wurden anstatt strömungstechnisch schlechter T- Kreuzungen sogenannte Y- Kreuzungen eingesetzt. Im Bereich der Zuluft und Abluft unmittelbar vor den Auslässen zu den Shopbereichen wurden anstatt eckiger Kanäle – runde Rohe die strömungstechnisch besserer als eckige sind, verbaut.

➤ **Verbesserung der Wärmerückgewinnung**

Der Kreuzstromplattenwärmetauscher soll von der durchströmenden Fläche vergrößert werden um einen möglichst hohen Anteil der warmen Luft wieder die frische Außenluft zu erwärmen. Die Heizleistung soll dadurch enorm verringert werden. Die Vergrößerung der durchströmenden Fläche wurde durch Anpassung des Querschnittes - indem man den Bereich der Wärmerückgewinnung möglichst quadratisch ausführte, um größtmögliche Plattenpakete und dadurch den verfügbaren Platzbedarf im Bereich der Wärmerückgewinnung ideal ausnutzen zu können. Bei dem neuem Lüftungsgerät wurde zusätzlich noch im Bereich des Kreuzstromplattenwärmetauschers eine Gehäusesprung vorgesehen.

- Gerätehöhe
  - Bestandgerät 2.375mm
  - Neugerät 3.870mm
- Gerätetiefe
  - Bestandsgerät 5.170mm
  - Neugerät 3.872mm

➤ **Regelung der Lüftungsanlage - Betriebszeiten**

- Bestandsgerät – 6 Tage pro Woche ( 24 Stunden)  
Betriebsstunden / Jahr= 52 Wochen x 6 Tage/Woche x 24 Stunden= 7.488h/a
- Neugerät – 6 Tage pro Woche ( 14 Stunden)  
Betriebsstunden / Jahr= 52 Wochen x 6 Tage/Woche x 14 Stunden= 4.368h/a

Im Rahmen eines energetischen Versuches hat sich der Betreiber dazu entschieden, die Betriebszeiten der Lüftungsanlage zu optimieren und dadurch Energie einzusparen. Die Anlage soll von Montag bis Samstag von 06:00 Uhr bis 20:00 Uhr in Betrieb sein und von

20:00 Uhr bis 06:00 Uhr ausgeschaltet werden. Somit ergibt sich eine Verringerung der Betriebsstunden um 3.120h pro Jahr. Nicht in den Betriebsstunden berücksichtigt wurden geschlossenen Tage an Feiertagen.

➤ **Einsatz von hocheffizienten Ventilatoren**

Der Wirkungsgrad der Ventilatoren soll mit freilaufenden Laufrädern im Vergleich zu bestehenden riemengetriebenen Ventilatoren deutlich erhöht werden. Einerseits wird durch die bessere Schaufelgeometrie der neuen Laufräder der Wirkungsgrad erhöht, andererseits haben die neuen Motoren höhere Wirkungsgrade und die Schlupfverluste über den Riemen fallen bei den direkt über eine Motorwelle angetriebenen Ventilator nicht mehr an.

➤ **Reduzierung des Volumenstromes**

- Bestandsgerät Volumenstrom Zuluft: 44.960m³/h
- Neugerät Volumenstrom Zuluft 40.960m³/h

Im Rahmen einer Überprüfung der tatsächlichen Nutzungsbedingungen der örtlichen Räumlichkeiten konnte eine Reduzierung des Volumenstromes vorgenommen werden. Mit den Jahren wurden die Anforderungen für Raucherlokale verschärft. Es seitens des Shoppingcenters entschieden, die Restaurants rauchfrei auszuführen. Auch in anderen Bereichen konnte der Luftwechsel reduziert werden, da sich teilweise die Raumaufteilungen veränderten und die Geräte überdimensioniert waren.

➤ **Verkürzung des Schalldämpfers**

Aufgrund besserer Schallverhalten der neuen Ventilatoren konnten die Schalldämpfer im Lüftungsgerät verkürzt werden, wodurch die Gesamtlänge des Gerätes ebenfalls reduziert wird.

- Außenluft Schalldämpferlänge
  - Bestandsgerät 1.200mm
  - Neugerät 600mm
- Zuluft Schalldämpferlänge
  - Bestandsgerät 1.500mm
  - Neugerät 900mm

- 
- Abluft Schalldämpferlänge
    - Bestandsgerät 1.200mm
    - Neugerät 600mm
  
  - Fortluft Schalldämpferlänge
    - Bestandsgerät 1.200mm
    - Neugerät 600mm



## 7. Neuplanung

Das in Kapitel 5 angeführte Lüftungsgerät wird nach neuesten Stand der Technik annähernd gleich nachgebaut. Das Ziel der neuen Lüftungsanlage ist jedoch die Reduzierung der jährlichen Betriebskosten unter Voraussetzung der schnellstmöglichen Amortisation der Lüftungsanlage. Den größten Einfluss auf die Betriebskosten haben die Wärmerückgewinnung und die Effizienz der Ventilatoren. Eine Verbesserung der Wärmerückgewinnung hat eine Vergrößerung der Wärmeübertragungsfläche zur Folge. Durch die Vergrößerung der Wärmetauscherfläche wird der Wärmerückgewinnungsgrad gesteigert. Zudem werden die Mindestwirkungsgrade in der von der europäischen Union beschlossenen Ökodesign Richtlinie ErP festgelegt. Der Druckverlust intern als auch extern hat wie auch der Volumenstrom einen wichtigen Einfluss auch die Effizienz des Ventilators.

### 7.1. Anforderungen nach Ökodesign Richtlinie ErP

Die Europäische Kommission hat mit dem Amtsblatt VERORDNUNG (EU) Nr. 1253 / 2014 vom 7. Juli 2014 beschlossen höhere Anforderungen an energieverbrauchsrelevante Produkte – insbesondere an Lüftungsgeräte zu stellen. Es konnte festgestellt werden, dass diese Produkte erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt innerhalb der europäischen Union beitragen. Dabei wurden technische, wirtschaftliche und ökologische Aspekte bewertet, mit dem Entschluss den Energieverbrauch in der Nutzungsphase zu reduzieren um eine Reduzierung der Treibhausemissionen zu ermöglichen.

Die sogenannten Ökodesign Anforderungen sind ab diesem Jahr in Kraft (Stichtag war 01.01.2016) für Lüftungsgeräte welche im europäischen Raum in Verkehr gebracht werden. Geräte welche aus der Europäischen Union exportiert werden, sind von dieser Verordnung nicht betroffen. Eine Verschärfung der Anforderungen wird bereits 2018 in Kraft treten - für das Jahr 2020 ist eine weitere Verschärfung vorgesehen.

| Kriterien                                                                    | ErP 2016                                                                                                                                                                                                                                                                    | ErP 2018                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>WRG mit Regelungseinrichtung</b>                                          | Gefordert                                                                                                                                                                                                                                                                   | Gefordert                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Trockene Rückwärmezahl <math>\eta_t</math> [%]</b>                        | KVS System: 63<br>Andere WRG: 67                                                                                                                                                                                                                                            | KVS System: 68%<br>Andere WRG: 73%                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Int. SFP-Wert</b><br><br><b>SFP<sub>int</sub> max. [W/(m³/s)]</b>         | <b>KVS</b> $q < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :<br>1.700+E- 300xq/2-F<br><b>KVS</b> $q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :<br>1.400+E-F<br><br><b>Andere WRG</b> $q < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :<br>1.200+E-300xq/2-F<br><b>Andere WRG</b> $q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :<br>900+E-F | <b>KVS</b> $q < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :<br>1.600+E- 300xq/2-F<br><b>KVS</b> $q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :<br>1.300+E-F<br><br><b>Andere WRG</b> $q < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :<br>1.100+E-300xq/2-F<br><b>Andere WRG</b> $q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$ :<br>800+E-F |
| <b>Effizienzbonus E</b><br><b>Wärmerückgewinnung</b><br><b>[W/(m³/s)]</b>    | <b>KVS:</b> $(\eta_t - 63) \times 30$<br><b>Andere WRG:</b> $(\eta_t - 67) \times 30$                                                                                                                                                                                       | <b>KVS:</b> $(\eta_t - 68) \times 30$<br><b>Andere WRG:</b> $(\eta_t - 73) \times 30$                                                                                                                                                                                       |
| <b>Filterkorrekturwert</b><br><b>F [W/m³/s)]</b>                             | Referenzkonfiguration: 0<br>Filter M5 fehlt: 160<br>Filter F7 fehlt: 200<br>Filter M5&F7 fehlen: 360                                                                                                                                                                        | Referenzkonfiguration: 0<br>Filter M5 fehlt: 150<br>Filter F7 fehlt: 190<br>Filter M5&F7 fehlen: 340                                                                                                                                                                        |
| <b>Ventilator Drehzahlregelung</b><br><b>&amp; Differenzdrucküberwachung</b> | Ja<br>Nein                                                                                                                                                                                                                                                                  | Ja<br>Ja                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Tabelle 10: Anforderungen laut ErP- Richtlinie [ErP]

Jede Lüftungsanlage muss bei der Wärmerückgewinnung mit einer Regelungseinrichtung ausgerüstet werden, die Mindestwirkungsgrade der Wärmerückgewinnung sind für ab 2016 und für 2018 festgelegt. Sind die Wirkungsgrade besser als gefordert, so gibt es einen Energiebonus Wärmerückgewinnung, dieser kompensiert aufgrund der höheren Druckverluste bei höherer Effizienz der Wärmerückgewinnung den schlechteren Wirkungsgrad der Ventilatoren.

## 7.2. Technische Daten des Lüftungsgerätes L01 Restaurant / Küche

Das neue Lüftungsgerät wird wie auch bereits das Bestandsgerät nebeneinander angeordnet und ist in der Tiefe geringer dem bestehenden Gerät – dafür jedoch höher. Bei der Wärmerückgewinnung wird es einen Gehäusesprung geben, d. h. das Gerät ist im Bereich des Plattenwärmtauschers zusätzlich um ca. 400mm höher als andere Bauteile des Lüftungsgerätes. Durch diesen Gehäusesprung wird eine Vergrößerung der luftdurchströmten Fläche des Wärmetauschers erzielt und somit wird der Wirkungsgrad bei gleichbleibendem Druck deutlich gesteigert. Als Ventilatoren werden freilaufende Laufräder mit AC- Motoren eingesetzt, dass bedeutet der Motor ist mit dem Laufrad nicht wie bei den Bestandsgeräten über einen Riemen verbunden, sondern direkt über eine Welle am Laufrad angeflanscht. Geregelt wird der Motor stufenlos über einen Frequenzumrichter.

### ➤ Lüftungszentrale Klima 1 - Anlage Restaurant Interspar

Das neue Lüftungsgerät ist ein kombiniertes Zu- und Abluftgerät und ist von den Bauteilen ident aufgebaut wie das Bestandsgerät jedoch mit geänderten techn. Daten wie folgt: Zuluft: flexibler Anschlussstutzen, Gliederklappe, Leerteil zur Filterrevision, Filter, Schalldämpfer, Kreuzstromplattenwärmerückgewinnung, Ventilator, Schalldämpfer, Zone 1 mit Lufterwärmer und Luftkühler, Zone 2 mit Lufterwärmer und Luftkühler, Regelklappen für Zonen - Abluft: Leerteil zur Filterrevision, Filter, Schalldämpfer, Ventilator, Kreuzstromplattenwärmerückgewinnung, Schalldämpfer, flexibler Anschlussstutzen, Gliederklappe

Nachstehend wird das neue Lüftungsgerät nach deren technischen Spezifikation angeführt:

|                                           |                                    |
|-------------------------------------------|------------------------------------|
| Aufstellung:                              | Technikzentrale Innenraum          |
| Anordnung der Luftstrome                  | nebeneinander                      |
| Volumenstrom Zuluft / Abluft              | 40.960m³/h / 40.960m³/h            |
| Luftgeschwindigkeit Zuluft / Abluft       | 1,92m/s                            |
| Druckverlust extern Zuluft / Abluft       | 300Pa / 300Pa                      |
| Abmessungen Zuluft: Höhe / Tiefe / Breite | 3.260 (3.872) / 1.796 / 9.697 (mm) |
| Abmessungen Abluft: Höhe / Tiefe / Breite | 3.260 (3.872) / 1.796 / 7.127 (mm) |

## **Zuluft- Komponenten in Luftrichtung: Flexibler Anschlussstutzen**

### **Gliederklappe**

Druckverlust 4Pa

### **Filter**

Filtertype Taschenfilter G4  
Anfangsdruckverlust 41Pa  
Dimensionierter Druckverlust f. Ventilator 96Pa

### **Schalldämpfer**

Kulissenlänge 600mm  
Dämpfung bei 250 Hz 13dB  
Druckverlust 15Pa

### **Wärmerückgewinnung**

Kreuzstromplattenwärmetauscher PWT

Winterfall  
Außenlufttemperatur / relative Feuchte -12°C / 90 % r. F.  
Zulufttemperatur 14,2°C  
Druckverlust Zuluft / Abluft 232Pa / 243Pa  
Rückwärmezahl trocken 72,0 %  
Sommerfall  
Außenlufttemperatur 32°C / 50%  
Zulufttemperatur 27,7°C / 40% r. F.

### **Ventilator / Motor**

Typ Zwei AC – Motoren im Parallelbetrieb  
Energieeffizienzklasse IE3 aufgeführt als  
freilaufende Räder  
Nennleistung 2 x 7,5 kW  
Spannung 400V  
 $P_{el}$  13,86 kW  
Stromaufnahme 28,92 A  
Gesamtwirkungsgrad 69,0%  
Schallleistung nur Ventilator 88,0 dBA

### **Schalldämpfer**

Kulissenlänge 900mm  
Dämpfung bei 250 Hz 18dB  
Druckverlust 15Pa

**Zone1 - Küche**

|                                             |                          |
|---------------------------------------------|--------------------------|
| Volumenstrom                                | 23.524 m³/h              |
| Druckverlust                                | 127 Pa                   |
| Luftheritzer                                | PWW ( Pumpenkaltwasser ) |
| Luft Eintrittstemperatur                    | 14,2°C                   |
| Luft Austrittstemperatur                    | 23°C                     |
| Medium Wasser                               |                          |
| Mediumstemperatur Eintritt                  | 80°C                     |
| Mediumstemperatur Austritt                  | 40°C                     |
| Heizleistung                                | 69,3 kW                  |
| Luftkühler                                  | PKW ( Pumpenkaltwasser ) |
| Luft Eintrittstemperatur / relative Feuchte | 27,7°C / 40%             |
| Luft Austrittstemperatur / relative Feuchte | 18°C / 70%               |
| Medium                                      | Wasser                   |
| Mediumstemperatur Eintritt                  | 8°C                      |
| Mediumstemperatur Austritt                  | 14°C                     |
| Kühlleistung                                | 83,4kW                   |

**Zone2 - Restaurant**

|                                             |               |
|---------------------------------------------|---------------|
| Volumenstrom                                | 17436 m³/h    |
| Druckverlust                                | 127 Pa        |
| Luftheritzer                                | PWW           |
| Luft Eintrittstemperatur                    | 14,2°C        |
| Luft Austrittstemperatur                    | 23°C          |
| Heizleistung                                | 51,4 kW       |
| Luftkühler                                  | PKW           |
| Luft Eintrittstemperatur / relative Feuchte | 27,7 °C / 40% |
| Luft Austrittstemperatur / relative Feuchte | 14,8°C / 83%  |
| Medium                                      | Wasser        |
| Mediumstemperatur Eintritt                  | 8°C           |
| Mediumstemperatur Austritt                  | 14°C          |
| Kühlleistung                                | 84,9 kW       |

**Abluft- Komponenten in Luftrichtung:****Filter**

|                                            |                           |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| Filtertype                                 | Taschenfilter Klasse EU 4 |
| Anfangsdruckverlust                        | 82Pa                      |
| Dimensionierter Druckverlust f. Ventilator | 96Pa                      |

**Schalldämpfer**

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Kulissenlänge       | 600mm |
| Dämpfung bei 250 Hz | 13dB  |
| Druckverlust        | 15Pa  |

**Ventilator / Motor**

|                               |                                                                                                         |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Typ                           | Zwei AC – Motoren im Parallelbetrieb<br>Energieeffizienzklasse IE3 aufgeführt als<br>freilaufende Räder |
| Nennleistung                  | 2x 7,5 kW                                                                                               |
| P <sub>el</sub>               | 11,2kW                                                                                                  |
| Stromaufnahme                 | 28,92A                                                                                                  |
| Gesamtwirkungsgrad            | 69,0%                                                                                                   |
| Schallleistung nur Ventilator | 87,0 dBA                                                                                                |

**Wärmerückgewinnung**

|                                       |                                             |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| Druckverlust                          | Kreuzstromplattenwärmetauscher PWT<br>243Pa |
| Ablufttemperatur / relative Feuchte   | 22°C/ 40% r. F.                             |
| Rückwärmezahl trocken                 | 72,0%                                       |
| Sommerfall                            |                                             |
| Ablufttemperatur / relative Feuchte   | 32°C / 50%                                  |
| Fortlufttemperatur / relative Feuchte | 27,7°C / 64% r. F.                          |
| Rückwärmezahl trocken                 | 71,9%                                       |

**Schalldämpfer**

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Kulissenlänge      | 600mm |
| Dämpfung bei 250Hz | 13dB  |
| Druckverlust       | 15 Pa |

**Gliederklappe**

|              |      |
|--------------|------|
| Druckverlust | 4 Pa |
|--------------|------|

**Flexibler Anschlussstutzen**



## 8. Ökonomische Bewertung der Lüftungsanlagen

### Shoppingcenter

Das Shoppingcenter arbeitet mittels eines internen Kostensenkungsprogrammes ständig daran Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit und Produktivität zu erarbeiten. So genannte betriebswirtschaftliche Kennzahlen wie die Rentabilität, Produktivität oder die Wirtschaftlichkeit bewerten ein Unternehmen und erlauben dessen Vergleich mit den Mitbewerbern.

### 8.1. Energetische Bewertung

In diesem Kapitel werden die unter den Kapiteln 5 und 7 angeführten techn. Daten gegenübergestellt und bewertet. Das Ziel dabei ist eine Zusammenfassung der energetischen Daten der Anlage. Im nachfolgenden Kapitel erfolgt aufbauend auf die unten angeführten Eckdaten eine wirtschaftliche Bewertung der Lüftungsanlage.

#### 8.1.1. Wärmerückgewinnung

Die Effizienz der Wärmerückgewinnung des bestehenden Lüftungsgerätes wird mit der Effizienz des neuen Gerätes verglichen. Die Effizienz einer Lüftungsanlage wird durch die Rückwärmezahl in Prozent angegeben.

#### Wärmerückgewinnung Bestandsgerät:

|                                                |                                |
|------------------------------------------------|--------------------------------|
| Typ                                            | Kreuzstromplattenwärmetauscher |
| Winterfall                                     |                                |
| Außenlufttemperatur $T_{AUL}$                  | -12°C / 90 % r. F.             |
| Ablufttemperatur $T_{ABL}$                     | 22°C / 40% r. F.               |
| Zulufttemperatur $T_{ZUL}$                     | 7,5°C                          |
| Leistung $P$                                   | 281,3 kW                       |
| Druckverlust Zuluft / Abluft $\Delta P$        | 325 Pa / 387 Pa                |
| Rückwärmezahl Außenluft / Fortluft $\Phi_{tr}$ | 54,3% / 49,4%                  |



Die Sommerdaten sind leider auf der bestehenden Gerätekarte nicht angeführt und somit auch nicht mehr verfügbar. Gegeben sind jedoch folgende Daten des Luftkühlers, wobei darauf zu schließen ist dass die Eintrittstemperatur des Luftkühlers der Austritt aus der Wärmerückgewinnung ist:

Eintrittstemperatur / relative Feuchte                      29°C / 46 %

#### Wärmerückgewinnung Neugerät:

|                                   |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Typ                               | Kreuzstromplattenwärmetauscher |
| Winterfall                        |                                |
| Außenlufttemperatur $T_{AUL}$     | -12°C / 90 % r. F.             |
| Ablufttemperatur $T_{ABL}$        | 22°C / 40% r. F.               |
| Zulufttemperatur $T_{ZUL}$        | 14,2°C                         |
| Leistung P                        | 178,9 kW                       |
| Druckverlust Zuluft / Abluft DP   | 232 Pa / 243 Pa                |
| Rückwärmezahl trocken $\Phi_{tr}$ | 72,0 %                         |
| Sommerfall                        |                                |
| Außenlufttemperatur $T_{AUL}$     | 32°C / 50%                     |
| Ablufttemperatur $T_{ABL}$        | 26°C / 50%                     |
| Fortlufttemperatur $T_{FOL}$      | 30,3°C / 39% r. F.             |
| Zulufttemperatur $T_{ZUL}$        | 27,7°C / 64% r. F.             |
| Druckverlust Zuluft / Abluft DP   | 262 Pa / 260 Pa                |
| Rückwärmezahl trocken $\Phi_{tr}$ | 71,9%                          |

| Gegenüberstellung<br>Wärmerückgewinnung | Bestandgerät | Neugerät     | Verbesserung /<br>Einsparung [%] |
|-----------------------------------------|--------------|--------------|----------------------------------|
| <b>Winter</b><br>Zulufttemperatur       | 7,5 °C       | 14,2°C       | 6,7 ° C                          |
| <b>Sommer</b><br>Zulufttemperatur       | 29,0°C / 46% | 27,7°C / 64% | 1,3 ° C                          |
| Winter Rückwärmezahl                    | 54,3 %       | 72%          | 17,7%                            |

Tabelle 11: Energetische Bewertung Wärmerückgewinnung

Der Wärmerückgewinnungsgrad beschreibt in Prozent den Anteil der aus der Abluft mittels eines Wärmerückgewinnungssystems zurückgewonnenen Energie. Je höher diese ist, umso weniger Energie muss für die Konditionierung der Luft aufgebracht werden und entsprechende effizienter ist das Lüftungsgerät!

Aus der Formel  $Q = m * c * \Delta t$  errechnet sich die aufzubringende Leistung für zusätzliche Energie im Sommer sowie im Winter und dadurch folgende Einsparung:

### Einsparung der Kälteleistung bei gleichbleibendem Volumenstrom

$$Q = m * c * \Delta t = \frac{44.960m^3}{3600} * \frac{1,2kg}{m^3} * 1,3^\circ C = 19,48kW$$

m...Volumenstrom in m³/s

c...spezifische Wärmekapazität

$\Delta t$ ..Temperaturdifferenz

### Einsparung der Wärmeleistung bei gleichbleibendem Volumenstrom

$$Q = m * c * \Delta t = \frac{44.960m^3}{\frac{3600m^3}{s}} * \frac{1,2kg}{m^3} * 6,7^\circ C = 100,41kW$$

Zu beachten ist dass sich die Berechnungswerte auf die Normauslegungstemperaturen beziehen. Für die weitere energetische Betrachtung wurde nur die Einsparung an Wärmeleistung herangezogen. Diese wurde mit mittleren Temperaturen über eine Heizperiode gerechnet, um ein möglichst realitätsnahes Ergebnis zu erzielen.

### 8.1.2. Ventilatoren

In diesem Kapitel werden die bestehenden Ventilatoren mit den neuen Ventilatoren verglichen. Die bestehenden Ventilatoren sind mit Riemenantrieb welcher zusätzliche Schlupfverluste verursacht ausgestattet – bei den neuen Ventilatoren erfolgt der Antrieb des Ventilators direkt über die Motorwelle über sogenannte direktgetriebene Ventilatoren. Der Wirkungsgrad ist bei den neuen Ventilatoren deutlich besser und dadurch ist der Stromverbrauch bei gleichbleibenden Druck und Volumenstrom ebenfalls geringer.

| Gegenüberstellung<br>Zuluft - Ventilator | Bestandgerät<br>Riemengetrieben | Neugerät<br>Direktgetrieben | Verbesserung /<br>Einsparung [%] |
|------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Volumenstrom V                           | 44.960 m³/h                     | 40.960 m³/h                 | 4.000 m³/h / 8,9%                |
| Interner Druck $DP_{int}$                | 735 Pa                          | 494 Pa                      | 160Pa / 32,8%                    |
| externer Druck $DP_{ext}$                | 450 Pa                          | 300Pa                       | 150 Pa / 33,3%                   |
| Wellenleistung $P_w$                     | 19,9kW                          | 14,90 kW                    | 5,0 kW / 25,1%                   |
| Wirkungsgrad $\eta$                      | 61,6%                           | 69,0%                       | 7,4%                             |
| Stromaufnahme I                          | 44,0 A                          | 28,92 A                     | 5 A / 11,4%                      |
| Schallleistung $L_w$<br>(nur Ventilator) | 96,3 dBA                        | 88 dBA                      | 8,3 dBA / 9,43%                  |

**Tabelle 12: Energetische Bewertung Zuluft - Ventilator**

Wie aus der Tabelle 12 zu entnehmen ist die elektrische Leistungsaufnahme des Zuluft-Ventilators um 5,0kW geringer als noch bei dem Bestandsgerät. Aufgrund der Anpassung der Nutzungsbedingungen konnte der Volumenstrom um 4.000m<sup>3</sup>/h reduziert werden. Ebenfalls ist es durch energetische Optimierung der externen Kanalführung möglich die externe Pressung um 150Pa zu reduzieren. Um die internen Drücke im Lüftungsgerät zu reduzieren wurde das Gerät vergrößert und dadurch ergibt sich eine Luftgeschwindigkeit von 2,5 m/s auf 1,95m/s.

| Gegenüberstellung<br>Abluft - Ventilator         | Bestandsgerät<br>Riemengetrieben | Neugerät<br>Direktgetrieben | Verbesserung /<br>Einsparung [%] |
|--------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Volumenstrom V                                   | 40.960 m <sup>3</sup> /h         | 40.960 m <sup>3</sup> /h    | 0 %                              |
| Interner Druck DP                                | 605 Pa                           | 456Pa                       | 149Pa / 24,6%                    |
| Externer Druck DP                                | 450 Pa                           | 300Pa                       | 150 Pa / 33,3%                   |
| Wellenleistung P <sub>w</sub>                    | 20,4kW                           | 12,92 kW                    | 7,48 kW / 36,7%                  |
| Wirkungsgrad $\eta$                              | 60,0%                            | 69,0%                       | 13,0%                            |
| Stromaufnahme I                                  | 44,0A                            | 28,92A                      | 15,08A / 34,3%                   |
| Schalleistung L <sub>w</sub><br>(nur Ventilator) | 96,4 dBA                         | 87 dBA                      | ca. 9,8%                         |

**Tabelle 13: Energetische Bewertung Abluft - Ventilator**

➤ **Stromkosten der Bestandslüftungsanlage – 6 Tage / Woche ( 12h/Tag)**

Die bestehende Lüftungsanlage ist sechs Tage in der Woche in Betrieb. Daraus errechnet sich der jährliche Stromverbrauch der der Ventilatoren von der Lüftungsanlage wie folgt:

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| Zuluftventilator $P_{el}$                   | 19,9 kW        |
| <u>Abluftventilator <math>P_{el}</math></u> | <u>20,4 kW</u> |
| Stromverbrauch / Stunde                     | 40,3 kW/h      |

Betriebsstunden pro Jahr = 52 Wochen x 6 Tage pro Woche x 12 Stunden pro Tag  
= 4.368 h / a

Jährliche Stromkosten [€ /a] des Zuluft- und Abluftventilators errechnet sich aus

Betriebsstunden pro Jahr [h/a] x Stromkosten [€/kWh] x Stromverbrauch [kW/h]= 4368 [h/a]\*  
0,10[€/a] x 40,3 [kW/h]= **17.603,00 [€/a]**

Die Stromkosten wurden für die Berechnung geschätzt (Arbeitspreis) – Abweichungen je nach Anbieter möglich!

➤ **Stromkosten der neuen Lüftungsanlage – 6 Tage / Woche ( 12h/Tag)**

Betriebsstunden pro Jahr = 52 Wochen x 6 Tage pro Woche x 14 Stunden pro Tag  
= 4.368 h / a

Durch Reduzierung der Betriebsstunden auf jährlich 4.368 h/a und mit der elektrischen Leistungsaufnahme des Zuluft- und Abluftventilator errechnen sich die jährlichen Stromkosten wie folgt:

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| Zuluftventilator $P_{el}$                   | 13,86 kW       |
| <u>Abluftventilator <math>P_{el}</math></u> | <u>11,94kW</u> |
| Stromverbrauch / Stunde                     | 25,80 kW/h     |

Jährliche Stromkosten [€ /a] des Zuluft- und Abluftventilators errechnet sich aus

Betriebsstunden pro Jahr [h/a] x Stromkosten [€/kWh] x Stromverbrauch [kW/h]= 4.368 [h/a]\*  
0,10[€/a] x 25,80[kW/h] = **11.269,40 [€/a]**

Die Stromkosten wurden für die Berechnung geschätzt (Arbeitspreis) – Abweichungen je nach Anbieter möglich!

➤ **Jährliche Einsparung der Betriebskosten durch geringere elektrische Leistungsaufnahme**

|                                         |                       |
|-----------------------------------------|-----------------------|
| Betriebskosten Bestandsgerät jährlich   | 17.603,00 €/a         |
| <u>Betriebskosten Neugerät jährlich</u> | <u>11.269,40 €/a</u>  |
| Einsparung Betriebskosten jährlich      | <b>6.333,60 € / a</b> |

Da die Motoren mittels Frequenzumrichter betrieben werden– wird davon ausgegangen das die Betriebsfrequenz der Netzfrequenz von 50 Hz entspricht und somit die angegebene elektrische Leistungsaufnahme der Wirklichkeit entspricht. Sollte die Betriebsfrequenz und dadurch auch die elektrische Leistungsaufnahme von der Netzfrequenz abweichen, so wurde das nicht der Berechnung nicht berücksichtigt!

### **8.1.3. Lufterwärmer**

Aufgrund des höheren Wärmerückgewinnungsgrades der neuen Lüftungsanlage und der dadurch höheren Zulufttemperatur im Winter wird die jährliche Heizleistung verringert. Sommerbetrieb wird bedingt durch die Wärmerückgewinnung die Luft gekühlt, jedoch ist die Temperaturänderung zwischen dem Bestandsgerät und dem Neugerät so gering, dass diese in dieser Arbeit vernachlässigt wird. Der Gegenstand der nachfolgenden Betrachtung ist also die Reduzierung der Heizleistung.

Die erforderliche Heizleistungsberechnung wurde um die Berechnung möglichst realitätsnah durchzuführen mit einer durchschnittlichen Außenlufttemperatur von 4°C und 50% rel. Feuchte durchgeführt.

| Gegenüberstellung<br>Heizleistung | Bestandgerät | Neugerät | Verbesserung kW /<br>Einsparung [%] |
|-----------------------------------|--------------|----------|-------------------------------------|
| Heizleistung Zone<br>Küche        | 76,4 kW      | 47,3 kW  | 29,1 kW / 39%                       |
| Heizleistung Zone<br>Restaurant   | 69,2 kW      | 35,1 kW  | 34,1 kW / 49%                       |
| Summe                             | 145,6 kW     | 82,4 kW  | 63,2 kW                             |

Tabelle 14: Gegenüberstellung Heizleistung

Die energetische Einsparung der Heizleistung aufgrund der höheren Wärmerückgewinnung wurde mit obig angeführten mittleren Temperaturen gerechnet.

#### 8.1.3.1 Jährliche Einsparung für Heizenergie (nur Betriebszeitenreduzierung)

Bei der Berechnung wird davon ausgegangen dass die eingespeiste Energie über ein Fernwärmenetz bezogen wird. Der Fernwärmepreis in Graz liegt je nach Abnahmemenge bei ca. 10 Cent / kWh. (Wert wurde geschätzt und kann je nach Anbieter abweichen). Errechnet werden die Heizkosten für eine Heizperiode wobei die Zeit von November bis April eine Heizperiode darstellt. Es wird bei der Berechnung von einer Durchschnittstemperatur über einen Standardwinter ausgegangen um möglichst realistische Werte zu erzielen.

➤ **Bestandslüftungsgerät - 24 Stunden pro Tag in Betrieb**

Betriebsstunden pro Jahr werden folgendermaßen berechnet:

$$HJ \frac{h}{a} = KW \times KWT \times ht \left[ \frac{h}{t} \right]$$

$$HJ \frac{h}{a} = 26 \times 6 \times 24 \frac{h}{t} = 3.744 \left[ \frac{h}{a} \right]$$

HJ...Betriebsstunden pro Jahr ( nur Heizperiode )

KW...Kalenderwochen für Heizperiode von November bis April 26 Wochen

KWT...Anzahl der Betriebstage der Anlage pro Woche

ht...Betriebsstunden pro Tag

**Jährliche Kosten** der einzuspeisenden Heizenergie errechnet sich aus

$$KJ \text{ €/a} = HJ \frac{h}{a} \times KH \frac{\text{€}}{\text{kW}} \times HL \left[ \frac{\text{kW}}{h} \right]$$

$$KJ_{24} \text{ €/a} = 3.744 \frac{h}{a} \times 0,1 \frac{\text{€}}{\text{kW}} \times 145,6 \frac{\text{kW}}{h} = 54.512,64 \frac{\text{€}}{a}$$

KJ...jährliche Kosten der Heizenergie

KH... Heizleistung

HL...Heizleistung

➤ **Bestandslüftungsgerät - 14 Stunden pro Tag in Betrieb**

Betriebsstunden pro Jahr = 26 Wochen x 6 Tage pro Woche x 14 Stunden pro Tag

$$= 2.184 \text{ h / a}$$

**Jährliche Kosten** der einzuspeisenden Heizenergie errechnet sich aus

$$KJ \text{ €/a} = HJ \frac{h}{a} \times KH \frac{\text{€}}{\text{kW}} \times HL \left[ \frac{\text{kW}}{h} \right]$$



$$KJ14 \text{ €/a} = 2.184 \frac{h}{a} \times 0,1 \frac{\text{€}}{\text{kW}} \times 145,6 \frac{\text{kW}}{h} = 31.799,04 \frac{\text{€}}{a}$$

**Jährliche Einsparung** durch Betriebszeitenreduzierung von 24 h/Tag auf 14 h/Tag

$$KJ \text{ €/a} = KJ14 \frac{\text{€}}{a} \times KJ14 \frac{\text{€}}{a} = 54.512,64 - 31.799,04 = 22.713,60 \frac{\text{€}}{a}$$

Die Betriebszeitenreduzierung wird nicht in die weitere ökonomische Bewertung einfließen, da diese auch mit dem bestehenden Lüftungsgerät realisiert werden kann.

### 8.1.3.2 Jährliche Einsparung der Heizenergie durch besserer Wärmerückgewinnung

Betriebsstunden pro Jahr für Heizen = 26 Wochen x 6 Tage pro Woche x 14 Stunden pro Tag  
= 2.184 h / a

Einsparung [€/a] der Heizenergie durch die Wärmerückgewinnung errechnet sich aus

$$KJ \text{ €/a} = HJ \frac{h}{a} \times KH \frac{\text{€}}{\text{kW}} \times HL \left[ \frac{\text{kW}}{h} \right]$$

$$KJ14 \text{ €/a} = 2.184 \frac{h}{a} \times 0,1 \frac{\text{€}}{\text{kW}} \times 63,2 \frac{\text{kW}}{h} = 13.802,88 \frac{\text{€}}{a}$$

Die Einsparung der Heizenergie durch höher effiziente Wärmerückgewinnung hat großen Einfluss auf die Betriebskosten – die Berechnung dieser Kosten wird in der Amortisationsrechnung dieser Arbeit dargestellt.

### 8.1.4. Druckverluste diverser Einbauteile

Das Ziel der energetischen Optimierung einer Lüftungsanlage ist die Widerstände des Systems möglichst gering zu halten, denn je höher der Widerstand umso mehr Arbeit muss die Maschine – bei den Lüftungsgeräten die Ventilatoren leisten. Zu den Widerständen, auch Druckverluste bezeichnet zählen die internen Drücke das sind alle Einbauteile im Lüftungsgerät als auch die externen Drücke wie etwa das Kanalsystem und Lufteinlässe und Luftauslässe. Die angeführte Tabelle soll einen Überblick der internen Drücke des Zuluftgerätes schaffen:

| Bauteil                                                           | Bestandgerät   | Neugerät       | Verbesserung /<br>Einsparung [%] |
|-------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------------------------|
| Gliederklappe                                                     | 10 Pa          | 4 Pa           | 6 Pa / 60%                       |
| Außenluftfilter EU4<br>(alte Bezeichnung entspricht<br>Klasse G4) | 125 Pa         | 96 Pa          | 29 Pa / 23,2%                    |
| Schalldämpfer<br>Außenluft<br>Zuluft                              | 30 Pa<br>30 Pa | 15 Pa<br>15 Pa | 15 Pa / 50%<br>15 Pa / 50%       |
| Wärmerückgewinnung                                                | 325 Pa         | 232 Pa         | 93 Pa / 28,6%                    |
| Erhitzer Küche / Restaurant                                       | 44 Pa          | 25 Pa          | 19 Pa / 37,5%                    |
| Kühler Küche / Restaurant<br>inkl. Tropfenabscheider              | 171 Pa         | 102 Pa         | 69Pa / 40,5%                     |
| Regelklappen für Zonen                                            | 11 Pa          | 5 Pa           | 6 Pa / 54,5 %                    |
| Gesamtdruck intern DPint                                          | 746 Pa         | 494 Pa         | 252 Pa / 33,8%                   |

**Tabelle 15: Zuluftgerät - Vergleich interner Drücke**

Eine Reduzierung des internen Druckes um 252 Pa, in Prozent 33,8% ist eine wesentliche Einsparung bei der elektrischen Leistungsaufnahme für den Zuluftventilator. Bei dem Abluftventilator ist das Verhältnis ähnlich dem Zuluftventilator:

| Bauteil                                                         | Bestandgerät   | Neugerät       | Verbesserung kW /<br>Einsparung [%] |
|-----------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| Gliederklappe                                                   | 10 Pa          | 4 Pa           | 6 Pa / 60%                          |
| Abluftfilter EU4<br>( alte Bezeichnung<br>entspricht Klasse G4) | 135 Pa         | 96 Pa          | 39 Pa / 28,9%                       |
| Schalldämpfer<br>Abluft<br>Fortluft                             | 30 Pa<br>30 Pa | 15 Pa<br>15 Pa | 15 Pa / 50%<br>15 Pa / 50%          |
| Wärmerückgewinnung                                              | 437 Pa         | 243 Pa         | 194 Pa / 44,4%                      |
| Gesamtdruck intern $DP_{int}$                                   | 642 Pa         | 373 Pa         | 269 Pa / 58%                        |

Tabelle 16: Abluftgerät - Vergleich interner Drücke

### 8.1.5 Gehäuseverluste

Eine Gegenüberstellung der Gehäuseverluste zwischen den Bestandsgeräten und den neuen Lüftungsgeräten wird aufgrund der fehlenden Spezifikationen des Bestandsgerätes in diese Arbeit nicht durchgeführt.

## 8.2. Investitionsrechnung

Als Investitionsrechnung bezeichnet man ein Berechnungsverfahren zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Investitionen. Es wird zwischen einer einfachen Investitionsrechnung der statischen Verfahren und zwischen einer etwas aufwändigeren Methode der dynamischen Verfahren unterschieden. Die statischen Verfahren werden mit Durchschnittswerten über das Jahr gerechnet während die dynamischen Verfahren zeitliche Unterschiede bei den Beträgen machen. Sie berücksichtigt den Zeitwert des Geldes und ist damit auch aufwändiger.

### 8.2.1. Statisches Berechnungsverfahren - Amortisationsrechnung

Die Amortisationsrechnung ist eine Berechnung welche den Zeitraum in welchem die Investitionsausgabe durch erzielte Überschüsse, auch Kapitalrückfluss genannt, angibt. Sie ist eine Form der statischen Investitionsrechnung und lässt sich als Einperiodenverfahren bezeichnen, da sich die zugrunde liegenden Werte der Investitionsentscheidung auf eine durchschnittliche Periode in diesem speziellen Fall auf eine Periode von einem Jahr beziehen. [AMOR]

| Kostenart<br>pro Jahr                     | Bestandgerät | Neugerät     | Einsparung |
|-------------------------------------------|--------------|--------------|------------|
| Anschaffungskosten                        | -            | (60.000,00€) |            |
| Betriebskosten Heizen                     | 31.799,04€   | 17.996,16€   | 13.802,88€ |
| Betriebskosten<br>Ventilatoren (12 h/day) | 17.603,00€   | 11.269,40€   | 6.333,60€  |
| Kosten $\Sigma$                           | 49.402,00€   | 29.265,60€   | 20.136,40€ |

**Tabelle 17: Datenangabe für die Amortisationsrechnung ( Zahlenwerte bezogen auf ein Gerät)**

Zusätzliche elektronische Bauteile wie Stellmotoren für Gliederklappenantriebe sowie die geringfügig bessere oder schlechtere Erwärmung der Außenluft bedingt durch die Wärmerückgewinnung wurden bei der Berechnung vernachlässigt. Ebenfalls wurden die Verlustfaktoren für Frequenzumrichter nicht berücksichtigt.

Auf Basis der obig angegebenen Einsparung an Betriebskosten des Neugerätes wird die Amortisationsrechnung wie folgt berechnet:

$$\text{Amortisationsdauer } a = \frac{\text{Anschaffungskosten Lüftungsanlagen}[\text{€}]}{\text{Einsparung der Betriebskosten}[\text{€/a}]}$$

Unter Berücksichtigung der Zahlenwert lt. Tabelle 14 und Berücksichtigung der Anzahl von 10 baugleichen Lüftungsgeräten ergibt sich folgende Amortisationsdauer

$$\text{Amortisationsdauer } a = \frac{10 \times 60.000[\text{€}]}{10 \times 20.136,40[\text{€/a}]} = 2,98 [a]$$

Das Ergebnis besagt das sich eine neue Lüftungsanlage nach über 2,98 Jahren bereits durch die geringeren Kosten für den Betrieb amortisiert und somit ab diesem Zeitpunkt unter Betrachtung der Einsparung der Betriebskosten günstiger ist als das Bestandsgerät weiter zu betreiben. Nicht berücksichtigt wurden Abschreibungskosten sowie Verzinsungskosten bei eventuellen Bankdarlehen.

### 8.2.2. Energiepreisentwicklung

Als Energie bezeichnet man allgemein die Fähigkeit Arbeit zu verrichten. Eine Erzeugung oder Vernichtung von Energie ist im physikalischen Sinne nicht möglich, es erfolgt bei einem energierelevanten Prozess lediglich eine Umwandlung einer vorhandenen Energieform in eine andere. Die Primärenergieträger kommen in der Natur vor und sind etwa fossile Brennstoffe oder erneuerbare Energien. Diese werden als Sekundärenergie umgewandelt und werden dadurch einsatzfähig. Die Tertiärenergie nennt man jene Nutzenergie die der Verbraucher für seine Zwecke benötigt. Die Energieformen aufzubereiten und einsatzfähig zu machen erfordert einen Aufwand welcher bezahlt werden muss.

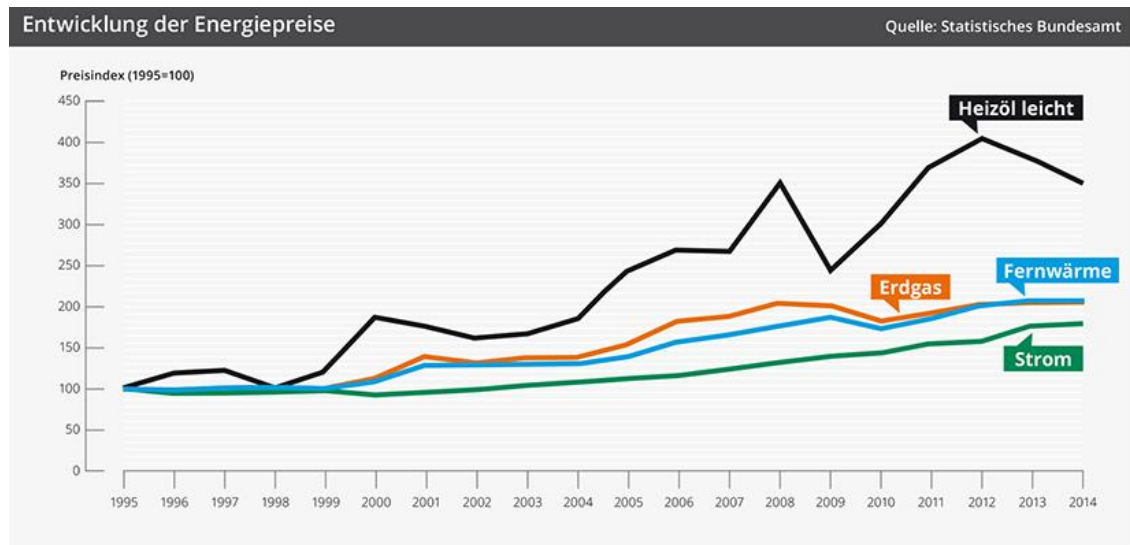


Abbildung 200: Energiepreisentwicklung [ENERG]

Wirft man einen Rückblick auf den Strom- und Fernwärmepreis in das Jahr 1995 und vergleicht diesen mit dem Jahr 2014 laut der Abbildung 22 so ist ein deutlicher Anstieg der Preise zu entnehmen. Von Preisindex 100 im Jahre 1995 lag der Preisindex im Jahr 2014 bei einem Preisindex von ca. 180 beim Strom und bei der Fernwärme bei ca. einem Preisindex von 220. Dennoch ist der Strompreis in Vergleich zu Heizöl noch immer von der Preisentwicklung am Stabilsten. Den größten Indexwert laut Abbildung von ca. 420 gab es 2012 beim Heizöl, Benzin und Diesel. Die Entwicklungskurve soll einen kurzen Einblick in die Energiepreisentwicklung der letzten 20 Jahre geben und damit belegen wie wichtig es ist energieeffiziente Geräte in Einsatz zu bringen.

### 8.3. Rentabilität

Eine überlegte Investition durch Aus- oder Umbau eines bestehenden Shoppingcenters trägt zur Wertsteigerung bei und erhöht langfristig die Rentabilität. Die angegebenen Rentabilität oder auch Rendite eines Unternehmens oder eines Projektes wird in Prozent angegeben und kann mit unterschiedlichen Kennzahlen gemessen werden. Dabei kann die Rentabilität die Verzinsung einer Investition (auch Kapitalrentabilität genannt) oder auch den Gewinn im Verhältnis zum Umsatz angeben.

Durch Steigerung des Gewinns nach einem Umbau infolge besseres Raumklima im Shoppingcenter sowie weiterer Faktoren welche für die Kosteneinsparung bei den Personalkosten beitragen, wie der Umbau von Selbstbedienungskassen soll mit Hilfe dem Verhältnis des Gewinn zum Umsatz die Umsatzrentabilität berechnet werden.

$$\text{Umsatzrentabilität} = \frac{\text{Gewinn}}{\text{Umsatz}}$$

Der Umsatz des Shoppingcenters vor dem Umbau lag bei 143,6 Mio. Euro jährlich. Der jährliche Gewinn dazu lag bei 3,7 Mio. Euro. Daraus errechnet sich folgende Umsatzrentabilität:

$$\text{Umsatzrentabilität} = \frac{\text{Gewinn}}{\text{Umsatz}} = \frac{3,7 \text{ Mio €}}{143,6 \text{ Mio €}} * 100\% = 2,37\%$$

Durch den Umbau konnte der jährliche Umsatz des Shoppingcenters um 38,43 % gesteigert werden. Der Umsatz liegt somit bei 198,78 Mio. Euro. Der Gewinn konnte durch zahlreiche organisatorische Änderungen wie unter anderen durch Personaleinsparung und Preisanpassung ebenfalls von 3,7 Mio. Euro auf 8,4 Mio. Euro erhöht werden. Mit den getroffenen Maßnahmen errechnet sich folgende Rentabilität:

$$\text{Umsatzrentabilität} = \frac{\text{Gewinn}}{\text{Umsatz}} = \frac{8,4 \text{ Mio €}}{198,78 \text{ Mio €}} * 100\% = 4,23\%$$

Die Umsatzrentabilität ist somit von den ursprünglichen 2,37% auf 4,23% gestiegen.

Die Gesamtinvestition des Shoppingcenters lag bei 30 Mio. Euro. Bei einem jährlichen Gewinn von 8,4 Mio. Euro hat sich die Investition des Shoppingcenters in 3,57 Jahren gerechnet. Diese Art der Rentabilitätsrechnung wird auch als ROI bezeichnet. Bei dem Gewinn wird davon ausgegangen dass keine zusätzlichen Kosten anfallen und damit für die Berechnung der gesamte Gewinn eingesetzt werden kann.

## 8.4 Produktivität

Das Verhältnis von Ausbringungsmenge zum Einsatz wird als Produktivität bezeichnet. Die Produktivität kann verschiedene Messeinheiten ins Verhältnis setzen und ist sehr flexibel in der Anwendung. Unternehmen setzen Produktivitätszahlen wie Arbeitsproduktivität oder

Maschinenproduktivität ein um sich mit anderen Unternehmen zu Messen und an Produktivitätssteigerungen zu arbeiten. Als nachfolgende Berechnung bezogen auf die Lüftungsanlagen Shoppingcenter wird die Maschinenproduktivität der Bestandlüftungsanlagen mit den neuen Lüftungsanlagen verglichen. Aus der allgemeinen Formel der Produktivität wird die Maschinenproduktivität berechnet. [PROD]

$$Produktivität = \frac{Ausbringmenge}{Einsatzmenge} = \frac{Output}{Input}$$

Bestehende Lüftungsgeräte - Maschinenproduktivität Zuluftventilatoren

$$Maschinenproduktivität = \frac{Volumenstrom \frac{m^3}{h}}{Leistung W} = \frac{10x 44.960 \frac{m^3}{h}}{10x 19.900W} = 2,26$$

Bestehende Lüftungsgeräte - Maschinenproduktivität Abluftventilatoren

$$Maschinenproduktivität = \frac{Volumenstrom \frac{m^3}{h}}{Leistung W} = \frac{10x 40.960 \frac{m^3}{h}}{10x 20.400W} = 2,01$$

Neue Lüftungsgeräte – Maschinenproduktivität Zuluftventilatoren

$$Maschinenproduktivität = \frac{Volumenstrom \frac{m^3}{h}}{Leistung W} = \frac{10x 40.960 \frac{m^3}{h}}{10x 13.860W} = 2,95$$

Neue Lüftungsgeräte- Maschinenproduktivität Abluftventilatoren

$$Maschinenproduktivität = \frac{Volumenstrom \frac{m^3}{h}}{Leistung W} = \frac{10x 40.960 \frac{m^3}{h}}{10x 11.940W} = 3,43$$

Mithilfe des eingesetzten Volumenstromes der Lüftungsanlagen im Zähler und durch Einsatz der aufzubringenden Leistung errechnet sich die Maschinenproduktivität als Verhältnis Output zu Input.



## 9. Schlussteil

### 9.1 Zusammenfassung

Im einleitenden Kapitel dieser vorliegenden Diplomarbeit werden die Bewegungsgründe dieser Arbeit und deren Ziele geschildert. Das Bewusstsein im Umgang mit vorhandenen Ressourcen und die Reduzierung des Energiebedarfes bei Großlüftungsanlagen ist ein großer Kosten- als auch Umweltfaktor.

Die Auswahl der richtigen Lüftungsanlagen dient als Basis für die Planung einer energetisch sinnvollen Lüftungsanlage. Je nach Einsatzbereiche werden aus technischer Sicht unterschiedliche Lüftungssysteme eingesetzt. Die Auswahl des geeigneten Systems erfordert eine enge Zusammenarbeit mit dem Planungsbüros, Anlagenbauern und dem Bauherrn.

Aufgrund der sehr dichten Auswahl an Lüftungsgeräteherstellern gibt es durchaus Unterschiede bei den Gehäusekonstruktionen der Gerätehersteller. Die Einbauteile der Lüftungsanlagen werden jedoch von den Geräteherstellern zugekauft - hier ist es eine besonders enge Zusammenarbeit zwischen Gerätehersteller und Hersteller der Einbauteile erforderlich, um die Bauteile optimal zu dimensionieren.

Eine bestehende Lüftungsanlage energetisch und aus ökonomischer Sicht in Frage zu stellen dient als Entscheidungsgrundlage zur Investition. Wie das Praxisprojekt zeigt bewirken oft kleine Änderungen wie Betriebszeitenanpassung ein enormes Potential in der Reduzierung der Kosten. Höhere Investitionen rechnen sich oft bereits nach einigen Jahren und sind zwar anfangs mit hohen Kosten verbunden, amortisieren sich aber häufig durch Kompensation der Betriebskosten sehr schnell. Die Amortisationsrechnung zeigt wie schnell sich die Investition bei steigenden Gewinnzahlen durch eine Erneuerung des Lüftungssystems amortisiert. Durch die getroffenen Maßnahmen steigt die Rentabilität eines Betriebes und die Maschinenproduktivität der Lüftungsanlagen konnte gesteigert werden.

Es sei gesagt dass zudem ältere Lüftungsgeräte die geforderte Luftleistung nicht mehr bringen, da die Einbauteile sehr alt und teilweise die Gehäuse sehr undicht. Damit geht bereits einiges an Energie verloren welche nicht genutzt werden kann. Eine gute

Raumluftqualität sorgt indirekt zu einer Veränderung für den Kunden und dadurch zu einer Steigerung der Umsatzzahlen.

## 9.2 Ausblick

Wenn von Seitens des Kunden der Wunsch nach Energieeinsparung und dadurch ein aktiver Beitrag zur Umwelt besteht, so sollte man bestehende alte Lüftungsanlagen mit effizienten Geräten vergleichen und eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchführen. Die Amortisationsrechnung kann einfach über die Anschaffungsausgabe und des durchschnittlichen Rückflusses an Energieeinsparung pro Jahr einen Überblick schaffen. Diese Arbeit kann als unterstützender Leitfaden zur Feststellung der Wirtschaftlichkeit oder Rentabilität einer Neuanschaffung verwendet werden. Sie kann jedoch keine Vollständigkeit gewährleisten, da diese Berechnungen immer auf einen speziellen Fall mit definierten Rahmenbedingungen aufgebaut werden. Als Hilfsmittel einer Optimierung sollte bei bekannten Lüftungssystemen ein Maßnahmenkatalog erstellt werden wo Mithilfe dieser Daten eine konkrete Neuplanung erstellt werden kann.

---

# Literatur

**Zeitschriften:**

[Käferhaus05] Dr. Jochen Käferhaus, „ Historische Haustechnik - Schnee von gestern?“, HLK- Heizung Lüftung Klimatechnik, Ausgabe 12/2005

[Seyfert14] Dipl. Ing. Dieter Seyfert, „ Lüftungsanlagen“ , ABGS - Nur zu Ihrer Sicherheit, Ausgabe 04/2014

**Bücher:**

[Fitzner08] K. Fitzner, „Raumklimatechnik Band 2: Raumlufte und Raumkühltechnik“ 16. Auflage; Springer Verlag Berlin Heidelberg 2008

[Keller09] L. Keller, „ Leitfaden für Lüftungs- und Klimaanlage- Grundlagen der Thermodynamik, Komponenten einer Vollklimaanlage, Normen und Vorschriften“, 2. Auflage; Oldenbourg Industrieverlag GmbH 2009

[Tkotz05] K. Tkotz, „Fachkunde Elektrotechnik“, 24. Auflage; Verlag Europa Lehrmittel 2005

[Reck09] H. Recknadel, „ Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik“, 72. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag GmbH 2005

**Normen:**

[EN13779 05] ÖNORM DIN EN 13779, „ Lüftung von Nichtwohngebäuden- Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage“, Ausgabe 01/05/2005

[EN1886 09] ÖNORM DIN EN 1886, „ Lüftung von Gebäuden- Zentrale raumluftechnische Geräte – Mechanische Eigenschaften und Messverfahren“ Ausgabe 01/08/2009

[EN779 12] ÖNORM EN 779, „ Partikel Luftfilter für allgemeine Raumluftechnik- Bestimmung der Filterleistung“, Ausgabe 01.10. 2012

[RLT01] RLT Richtlinie 01, „Allgemeine Anforderungen an Raumluftechnische Geräte“, Ausgabe 08/2014

[ErP] Amtsblatt der europäischen Union, „Verordnung (EU) Nr. 1253 / 2014 der Kommission vom 07. Juli 2014“, Ausgabe 25/11/2014

### **Vorlesungen:**

[Hauslagen99] G. Hausladen, „SKRIPT LÜFTUNGSTECHNIK“, Universität Gesamthochschule Kassel, Ausgabe 11 1999

[Zapfl07] W. Zapfl, „Heizung und Klimatechnik“, FH Pinkafeld

### **Webseiten:**

[BedienRLT08] <http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de/Betriebsoptimierung/Anweisungen-fuer-Hausverwalter/AMEV-Bedien-RLT.pdf>

[HEPA] <http://www.luftfilterbau.de/de/produkte/produktfinder/epa-hepa-ulpa/index.html>

[Akustika16] <http://www.akustika.ch/richtig-hoeren/rund-ums-richtige-hoeren/gehoer/wie-hoert-der-mensch/>

[PlattenWRG] [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Gebaeudetechnik-Waermerueckgewinnung-in-Lueftungsanlagen\\_2468659.html?glossarbegriff=Plattenw%C3%A4rmetauscher](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Gebaeudetechnik-Waermerueckgewinnung-in-Lueftungsanlagen_2468659.html?glossarbegriff=Plattenw%C3%A4rmetauscher)

[ROTORWRG] <http://www.klingenburg.de/ru/produkte/rotationswaermetauscher/rotoren-fuer-die-raumluftechnik/funktionsprinzip>,  
[http://www.klingenburg.de/fileadmin/user\\_upload/germany/Downloads/ROTOR/klingenburg\\_QuickGuide\\_de.pdf](http://www.klingenburg.de/fileadmin/user_upload/germany/Downloads/ROTOR/klingenburg_QuickGuide_de.pdf)

[KVSWRG] [http://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm\\_TrueGreen\\_deu.pdf](http://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm_TrueGreen_deu.pdf)

[WRGSYST] [http://www.xn--komfortlftung-3ob.at/fileadmin/komfortlueftung/EFH/komfortlueftung.at\\_Info\\_Nr.\\_19\\_Waermerueckgewinnung\\_V\\_2.0.pdf](http://www.xn--komfortlftung-3ob.at/fileadmin/komfortlueftung/EFH/komfortlueftung.at_Info_Nr._19_Waermerueckgewinnung_V_2.0.pdf)

[ADSO] <http://www.chemie.de/lexikon/Adsorption.html>

[FILT] <http://www.filtex.cc/>

[Schlupf] <http://www.wissen.de/lexikon/schlupf-elektrotechnik>

[Lufttech] [https://www.google.at/search?q=lufttechnik&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiw9tep3NnMAhUMJJJoKHZEJDEAQ\\_AUIBygB&biw=1777&bih=887&dpr=0.9#imgsrc=OVBgDV1YknqXfM%3A](https://www.google.at/search?q=lufttechnik&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiw9tep3NnMAhUMJJJoKHZEJDEAQ_AUIBygB&biw=1777&bih=887&dpr=0.9#imgsrc=OVBgDV1YknqXfM%3A)

[ROHRWRG] [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Gebaeudetechnik-Waermerueckgewinnung-in-Lueftungsanlagen\\_2468659.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Gebaeudetechnik-Waermerueckgewinnung-in-Lueftungsanlagen_2468659.html)

[HAUBE] <http://www.berlinerluft.de/de/deflektorhaube-dfh-eco.html>

[AMOR] <http://www.welt-der-bwl.de/Amortisationsrechnung>

[PROD] <http://www.welt-der-bwl.de/Produktivit%C3%A4t>

[ENERG] <http://www.heizungsfinder.de/blog/interview-markus-j-schmidt-evo-elektroheizung/>

#### **Hefte:**

[Eidam] H. Eidam, B. Hersfeld, B. Rahn, „Grundlagen der Ventilatorentechnik“

#### **Broschüren:**

[Kondensat11] robatherm, „Sicher vor Kondensation am Gehäuse des RLT- Gerätes.“, Ausgabe 10/2011

[Venti11] robatherm, „Ventilatoreinheiten mit hocheffizienten Motoren- Effektive Luftförderung bei RLT-Geräten durch die Kombination von wirkungsgradoptimierten Ventilatoren mit neuester Motortechnologie“, Ausgabe 06/2011

---

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Frauental, den 15. Juni 2016

Michael Gupper